

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА (ВИР)**

**ТРУДЫ
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 183
выпуск 4**

(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022**

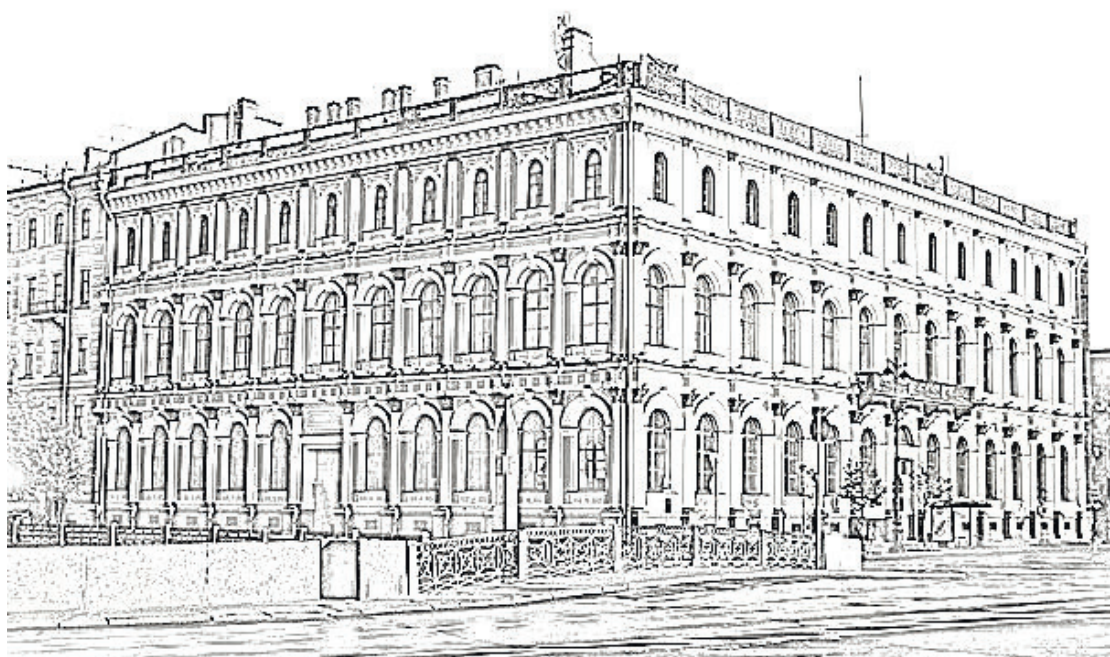
**PROCEEDINGS
ON APPLIED BOTANY, GENETICS
AND BREEDING, vol. 183
issue 4**

(founded by Robert Regel in 1908)

**ST. PETERSBURG
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова (ВИР)

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)





Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 57455 от 27.03.2014
Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

Главный редактор

Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН (Россия)

Заместители главного редактора

Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)

Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)

Митрофанова Ольга Павловна, д-р биол. наук (Россия)

Ответственный секретарь

Шипилина Лилия Юрьевна, канд. биол. наук (Россия)

Редакционная коллегия

Анисимова Ирина Николаевна, д-р биол. наук (Россия)

Брач Нина Борисовна, д-р биол. наук (Россия)

Бурляева Марина Олеговна, канд. биол. наук (Россия)

Гавриленко Татьяна Андреевна, д-р биол. наук (Россия)

Голохваст Кирилл Сергеевич, д-р биол. наук, профессор РАН, чл.-кор. РАО (Россия)

Горина Валентина Миленьевна, д-р с.-х. наук (Россия)

Добровольская Оксана Борисовна, д-р биол. наук (Россия)

Дорофеев Владимир Иванович, д-р биол. наук (Россия)

Зотеева Надежда Мубаровна, д-р биол. наук (Россия)

Корзун Виктор Николаевич, д-р биол. наук (Германия)

Лоскутов Игорь Градиславович, д-р биол. наук (Россия)

Матвеева Татьяна Валерьевна, д-р биол. наук (Россия)

Медведев Сергей Семенович, д-р биол. наук (Россия)

Мироненко Нина Васильевна, д-р биол. наук (Россия)

Митрофанова Ирина Вячеславовна, д-р биол. наук, чл.-кор. РАН (Россия)

Пороховинова Елизавета Александровна, д-р биол. наук (Россия)

Радченко Евгений Евгеньевич, д-р биол. наук (Россия)

Рашаль Исаак, д-р биол. наук, профессор (Латвия)

Родионов Александр Викентьевич, д-р биол. наук (Россия)

Силантьева Марина Михайловна, д-р биол. наук (Россия)

Соколова Диана Викторовна, канд. биол. наук (Россия)

Солодухина Ольга Владимировна, д-р биол. наук (Россия)

Тихонова Надежда Геннадьевна, канд. биол. наук (Россия)

Турусбеков Ерлан Кенесбекович, канд. биол. наук, профессор (Казахстан)

Ухатова Юлия Васильевна, канд. биол. наук (Россия)

Филипенко Галина Ивановна, канд. с.-х. наук (Россия)

Хатефов Эдуард Балилович, д-р биол. наук (Россия)

Чухина Ирена Георгиевна, канд. биол. наук (Россия)

Редакционный совет

Афанасенко Ольга Сильвестровна, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)

Баталова Галина Аркадьевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)

Бервилле Андре, д-р (Франция)

Бёрнер Андреас, д-р (Германия)

Беспалова Людмила Андреевна, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)

Вишнякова Маргарита Афанасьевна, д-р биол. наук (Россия)

Голубец Войтех, д-р (Чехия)

Гончаров Николай Петрович, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)

Дидерихсен Аксель, д-р (Канада)

Дука Мария Васильевна, д-р биол. наук, профессор, академик АН Молдовы (Молдова)

Еремин Геннадий Викторович, д-р с.-х. наук, академик РАН (Россия)

Кильчевский Александр Владимирович, д-р биол. наук, профессор, академик НАН Беларуси (Беларусь)

Левитин Марк Михайлович – д-р биол. наук, профессор, академик РАН (Россия)

Моргунов Алексей Иванович, д-р (Турция)

Муминджанов Хафиз Абдувахобович, д-р биол. наук, профессор (Турция, Таджикистан)

Тихонович Игорь Анатольевич, д-р биол. наук, академик РАН (Россия)

Фризен Николай Вальтерович, д-р биол. наук, профессор (Германия)

Хаммер Карл, д-р, профессор (Германия)

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding

2022 Volume 183 issue 4

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4
<https://elpub.vir.nw.ru>

Scientific Peer-Reviewed Journal
Founded in 1908



Founder: Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources

Editor-in-chief

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Russia

Deputy editor-in-chief

Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Russia

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Russia

Olga P. Mitrofanova, Dr. Sci. (Biology), Russia

Executive secretary

Lilia Yu. Shipilina, Cand. Sci. (Biology), Russia

Editorial board

Irina N. Anisimova, Dr. Sci. (Biology), Russia

Nina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Russia

Marina O. Burlyaeva, Cand. Sci. (Biology), Russia

Irena G. Chukhina, Cand. Sci. (Biology), Russia

Oxana B. Dobrovol'skaya, Dr. Sci. (Biology), Russia

Vladimir I. Dorofeev, Dr. Sci. (Biology), Russia

Galina I. Filipenko, Cand. Sci. (Agriculture), Russia

Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Russia

Kirill S. Golokhvast, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Corr. Member of the RAE, Russia

Valentina M. Gorina, Dr. Sci. (Agriculture), Russia

Eduard B. Khatefov, Dr. Sci. (Biology), Russia

Viktor N. Korzun, Dr. Sci. (Biology), Germany

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Russia

Tatyana V. Matveeva, Dr. Sci. (Biology), Russia

Sergey S. Medvedev, Dr. Sci. (Biology), Russia

Nina V. Mironenko, Dr. Sci. (Biology), Russia

Irina V. Mitrofanova, Dr. Sci. (Biology), Corr. Member of the RAS, Russia

Elizaveta A. Porokhovina, Dr. Sci. (Biology), Russia

Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Russia

Īzaks Rašals, Dr. Sci. (Biology), Professor, Latvia

Aleksandr V. Rodionov, Dr. Sci. (Biology), Russia

Marina M. Silant'eva, Dr. Sci. (Biology), Russia

Diana V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Russia

Ol'ga V. Soloduhina, Dr. Sci. (Biology), Russia

Nadezhda G. Tikhonova, Cand. Sci. (Biology), Russia

Erlan K. Turuspekov, Cand. Sci. (Biology), Professor, Kazakhstan

Yulia V. Ukhatova, Cand. Sci. (Biology), Russia

Nadezhda M. Zoteeva, Cand. Sci. (Biology), Russia

Editorial council

Olga S. Afanasenko, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Galina A. Batalova, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Andre Jean Berville, Dr., France

Lyudmila A. Beshpalova, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Andreas Börner, Dr., Germany

Axel Diederichsen, Dr., Canada

Maria V. Duca, Dr. Sci. (Biology), Professor, Full Member (Academician) of the Academy of Sciences of Moldova, Republic of Moldova

Gennady V. Eremin, Dr. Sci. (Agriculture), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Nikolai Friesen, Dr. habil., Professor, Germany

Nikolay P. Goncharov, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Karl Hammer, Dr., Professor, Germany

Vojtech Holubec (Vojtěch Holubec), Dr., Czech Republic

Alexander V. Kilchevsky, Dr. Sci. (Biology), Professor, Full Member (Academician) of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus

Mark M. Levitin, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Alexey I. Morgounov, Dr., Turkey

Hafiz Muminjanov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Turkey, Tajikistan

Igor A. Tikhonovich, Dr. Sci. (Biology), Full Member (Academician) of the RAS, Russia

Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Russia

Ответственные редакторы выпуска

Хлесткина Елена Константиновна, д-р биол. наук, профессор РАН (Россия)

Соколова Елена Александровна, д-р биол. наук (Россия)

Редактор-переводчик

Крылов Антон Георгиевич (Россия)

Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции / Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Санкт-Петербург : ВИР, 2022. Т. 183, вып. 4. 276 с.

Обсуждается разнообразие коллекции и селекционное использование восточноазиатских видов яблони. Изучен исходный материал сои в условиях Приморского края для селекционных целей. В условиях Волго-Вятского региона рассмотрена адаптивность высокобелковых генотипов ячменя. Предложена методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата. Дана оценка адаптивности и качества плодов сортов яблони для интенсивных садов. Определено накопление химических элементов в корнях молочая Фишера (*Euphorbia fischeriana* Steudel) в бассейне р. Шилка (Забайкальский край). Установлены морфологические и хозяйственные признаки сортов озимой ржи в связи с устойчивостью к полеганию. Рекомендован перспективный исходный материал для селекции озимой тритикале в условиях Среднего Урала. Сорта инжира (*Ficus carica* L.) коллекции Никитского ботанического сада исследованы по физиолого-биохимическим признакам. В условиях Мурманской области оценены селекционные сорта картофеля по важным агрономическим признакам. Отобран исходный материал для селекции картофеля, полученный с использованием видов *Solanum* L. Проведен сравнительный анализ кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области. Рассмотрено генетическое разнообразие абрикосов из Дагестана по SSR-маркерам. Исследован мутагенный эффект фосфемиды на ячмене. Прослежена связь между содержанием антоцианов в основаниях листовых влагалищ у сортов ячменя и в зерне полученных на их основе гибридов. Проанализирован характер наследования декоративных признаков черемухи в семьях с участием сорта 'Нежность'. Изучена изменчивость морфологических признаков и содержания ядерной ДНК гаплоидов и удвоенных гаплоидов в андрогенных каллусных линиях риса (*Oryza sativa* L.). Даны характеристики: диких родичей культурных растений на особо охраняемых природных территориях Республики Башкортостан; коллекции видов *Allium* L. Южно-Уральского ботанического сада-института. Новые российские сорта мягкой пшеницы проанализированы по генам устойчивости к бурой ржавчине. Обсуждаются результаты мониторинга капустной моли (*Plutella xylostella* L.) на коллекции капусты в окрестностях Санкт-Петербурга. Выделены сорта озимой ржи, умеренно устойчивые к спорынье. Рассмотрено генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta* L.) как потенциал для селекции. Описана 90-летняя история сотрудничества ВИР и Ленинградской карантинной лаборатории. Приведены: хронологический указатель трудов Н. И. Вавилова, опубликованных в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции»; выборочный указатель статей, опубликованных в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», посвященных жизни, деятельности и научным трудам Н. И. Вавилова.

Для ресурсосведов, ботаников, генетиков, селекционеров, преподавателей вузов биологического и сельскохозяйственного профиля.

ISSN 2227-8834 (Print)

ISSN 2619-0982 (Online)

© Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 2022

Editor in charge of this issue

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Russia

Elena A. Sokolova, Dr. Sci. (Biology), Russia

Editor&Translator

Anton G. Krylov, Russia

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding / N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. St. Petersburg : VIR, 2022. Vol. 183, iss. 4. 276 p.

Biodiversity of East Asian apple-tree species is discussed in the context of their use in breeding. Soybean source material for breeding purposes has been studied under the conditions of Primorsky Territory. Adaptability of high-protein barley genotypes has been analyzed under the conditions of the Volga-Vyatka region. A methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes under global climate warming is presented. Adaptability and fruit quality have been evaluated in new apple cultivars for intensive orchards. The roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel in the Shilka river basin (Transbaikial region) have been studied for accumulation of chemical elements in them. Morphological and agronomic characteristics of winter rye cultivars are shown in the context of their resistance to lodging. Promising source material of winter triticale is recommended for breeding under the conditions of the Middle Urals. Physiological and biochemical features have been studied in fig cultivars (*Ficus carica* L.) from the collection of the Nikita Botanical Gardens. Improved potato cultivars have been evaluated according to their agronomic traits under the conditions of Murmansk Province. Source material for potato breeding has been selected from crosses among *Solanum* L. spp. A comparative analysis of fodder legumes has been performed in Murmansk Province. SSR markers have been used to analyze genetic diversity of apricots from Dagestan. Mutagenic effect of phosphemide has been examined in barley. Relationships have been traced between the anthocyanin content values in the leaf sheath base of barley cultivars and in the grain of the hybrids derived from them. Inheritance of ornamental traits has been studied in bird cherry families with cv. 'Nezhnost' in their pedigree. Variability of morphological features and nuclear DNA content has been analyzed in haploids and doubled haploids of androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.). Crop wild relatives in the protected areas of the Republic of Bashkortostan and the collection of *Allium* L. at the South-Ural Botanical Garden-Institute are described. Leaf rust resistance genes have been analyzed in new Russian bread wheat cultivars. The results of monitoring the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) on the *Brassica oleracea* L. collection in the vicinity of St. Petersburg are discussed. Winter rye cultivars moderately resistant to ergot have been identified. Genetic diversity of the table beet (*Beta* L.) collection at VIR is scrutinized as a potential source for breeding. The ninety-year history of cooperation between VIR and Leningrad Quarantine Laboratory is recounted. A chronological index of Nikolay Vavilov's works published in the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* and a selective index of the journal's publications dedicated to Vavilov's life, activities and scientific works are presented.

Addressed to genetic resources experts, geneticists, plant breeders and lecturers of biological and agricultural universities and colleges.

ISSN 2227-8834

ПН № ФС77-57455

© Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции.....	9
------------------	---

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Барсукова О.Н. Биологическое разнообразие и селекционное использование восточноазиатских видов яблони	12
---	----

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей	19
Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Панихина Л.В., Дягилева Е.В. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона.....	30
Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Кинчарова М.Н., Таранова Т.Ю., Муллаянова О.С., Чекмасова К.Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата.....	39
Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М., Макаркина М.А., Лупин М.В. Оценка адаптивности и качества плодов сортов яблони для интенсивных садов.....	48
Макаров В.П. Накопление химических элементов в корнях молочая Фишера (<i>Euphorbia fischeriana</i> Steudel) в бассейне р. Шилка (Забайкальский край).....	60
Набатова Н.А., Парфенова Е.С., Уткина Е.И., Шамова М.Г., Псарева Е.А., Жукова М.Н. Морфологические и хозяйственные признаки сортов озимой ржи в связи с устойчивостью к полеганию	73
Потапова Г.Н., Зобнина Н.Л., Безгодов А.В., Иванова М.С. Перспективный исходный материал для селекции озимой тритикале в условиях Среднего Урала	88
Шишкина Е.Л., Дунаевская Е.В., Пилькевич Р.А., Марчук Н.Ю. Физиолого-биохимические особенности сортов инжира (<i>Ficus carica</i> L.) коллекции Никитского ботанического сада	97

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Жигадло Т.Э. Оценка селекционных сортов картофеля по ценным агрономическим признакам в условиях Мурманской области.....	107
Зотеева Н.М., Евдокимова З.З. Исходный материал для селекции картофеля, полученный с использованием видов <i>Solanum</i> L.....	115
Михайлова И.В., Хвостова А.Б., Малышев Л.Л. Сравнительный анализ кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области	122

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Анатов Д.М., Супрун И.И., Степанов И.В., Токмаков С.В. Анализ генетического разнообразия абрикосов из Дагестана по SSR-маркерам.....	132
Тетяников Н.В., Боме Н.А. Исследование мутагенного эффекта фосфемиды на ячмене	141
Шоева О.Ю., Кукоева Т.В. Взаимосвязь между содержанием антоцианов в основаниях листовых влагалищ у сортов ячменя и в зерне полученных на их основе гибридов	152

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Локтева А.В., Симагин В.С.

Наследование декоративных признаков черемухи в семьях с участием сорта 'Нежность' 163

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Илюшко М.В., Скапцов М.В., Ромашова М.В.

Изменчивость морфологических признаков и содержания ядерной ДНК гаплоидов и удвоенных гаплоидов
в андрогенных каллусных линиях риса (*Oryza sativa* L.) 172

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Мифтахова С.Р., Абрамова Л.М., Сайфуллина Н.М., Юсупова О.В.

Дикие родичи культурных растений на особо охраняемых природных территориях Республики Башкортостан 181

Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М.

Коллекция рода *Allium* L. Южно-Уральского ботанического сада-института 192

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Гулятьева Е.И., Шайдаук Е.Л., Веселова В.В., Смирнова Р.Е., Зуев Е.В., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П.

Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине 208

Захарова Ю.А., Фролов А.Н., Артемьева А.М.

Мониторинг капустной моли (*Plutella xylostella* L.) на коллекции капусты в окрестностях Санкт-Петербурга 219

Щеклеина Л.М., Шешегова Т.К.

Сорта озимой ржи, умеренно устойчивые к спорынье 229

ОБЗОРЫ

Соколова Д.В.

Генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta* L.) как потенциал для селекции (обзор) 239

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Другова Е.В., Озерская Т.М.

ВИР и Ленинградская карантинная лаборатория: 90 лет сотрудничества 251

Хронологический указатель трудов Николая Ивановича Вавилова, опубликованных в журнале

«Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» 262

Выборочный указатель статей, опубликованных в журнале «Труды по прикладной ботанике,

генетике и селекции», посвященных жизни, деятельности и научным трудам Н. И. Вавилова 266

CONTENTS

From the editorial board.....	9
-------------------------------	---

MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Barsukova O.N. Biodiversity of East Asian apple-tree species and their use in breeding.....	12
---	----

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Vasina E.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory.....	19
Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Panikhina L.V., Dyagileva E.V. Adaptability of high-protein barley genotypes under the conditions of the Volga-Vyatka region.....	30
Kincharov A.I., Demina E.A., Kincharova M.N., Taranova T.Yu., Mullayanova O.S., Chekmasova K.Yu. Methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes under global climate warming.....	39
Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Galasheva A.M., Makarkina M.A., Lupin M.V. Assessment of adaptability and fruit quality in new apple cultivars for intensive orchards.....	48
Makarov V.P. Accumulation of chemical elements in the roots of <i>Euphorbia fischeriana</i> Steudel in the Shilka river basin (Transbaikal region).....	60
Nabatova N.A., Parfenova E.S., Utkina E.I., Shamova M.G., Psareva E.A., Zhukova M.N. Morphological and agronomic characteristics of winter rye cultivars in connection with their resistance to lodging.....	73
Potapova G.N., Zobnina N.L., Bezgodov A.V., Ivanova M.S. Promising source material for winter triticale breeding under the conditions of the Middle Urals	88
Shishkina E.L., Dunaevskaya E.V., Pilkevich R.A., Marchuk N.Yu. Physiological and biochemical features of fig cultivars (<i>Ficus carica</i> L.) from the collection of the Nikita Botanical Gardens.....	97

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Zhigadlo T.E. Evaluation of improved potato cultivars according to their agronomic traits under the conditions of Murmansk Province.....	107
Zoteyeva N.M., Evdokimova Z.Z. Source material from crosses among <i>Solanum</i> L. spp. for potato breeding	115
Mikhailova I.V., Khvostova A.B., Malyshev L.L. Comparative analysis of fodder legumes in Murmansk Province.....	122

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Anatov D.M., Suprun I.I., Stepanov I.V., Tokmakov S.V. Genetic diversity analysis of apricots from Dagestan using SSR markers.....	132
Tetyannikov N.V., Bome N.A. Studies on mutagenic effect of phosphemide in barley	141
Shoeva O.Yu., Kukoeva T.V. Relationship between the anthocyanin content values in the leaf sheath base of barley cultivars and in the grain of the hybrids derived from them	152

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Lokteva A.V., Simagin V.S.

Inheritance of ornamental traits in bird cherry families with the cultivar 'Nezhnost' in their pedigree 163

IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Ilyushko M.V., Skaptsov M.V., Romashova M.V.

Variability of morphological features and nuclear DNA content in haploids and doubled haploids of androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.).....172

SYSTEMATICS, PHYLOGENY AND GEOGRAPHY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Miftakhova S.R., Abramova L.M., Saifullina N.M., Yusupova O.V.

Crop wild relatives in the protected areas of the Republic of Bashkortostan 181

Tukhvatullina L.A., Abramova L.M.

The collection of *Allium* L. at the South-Ural Botanical Garden-Institute 192

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Veselova V.V., Smirnova R.E., Zuev E.V., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P.

Diversity of new Russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes.....208

Zakharova Yu.A., Frolov A.N., Artemyeva A.M.

Monitoring of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) on the *Brassica oleracea* L. collection in the vicinity of St. Petersburg.....219

Shchekleina L.M., Sheshegova T.K.

Winter rye cultivars moderately resistant to ergot.....229

SURVEYS

Sokolova D.V.

Genetic diversity of the table beet (*Beta* L.) collection at VIR as a potential source for breeding (a review) 239

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Drugova E.V., Ozerskaya T.M.

VIR and Leningrad Quarantine Laboratory: 90 years of cooperation.....251

Chronological index of the works by Nikolay I. Vavilov published in the journal

Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding 262

Selective index of the publications in the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*

dedicated to Nikolay Vavilov's life, activities and scientific works.....266

От редакции From the editorial board

В четвертом выпуске журнала «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» за 2022 год редакция посчитала необходимым довести до читателей информацию о событиях общероссийского масштаба и юбилейных мероприятиях, связанных с деятельностью издателя журнала – Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Особо важное событие 2022 года – формирование на базе ВИР Национального центра генетических ресурсов растений. Восьмого февраля 2022 г. Президент России Владимир Путин подписал указы о создании Национального центра генетических ресурсов растений и Межведомственной комиссии, координирующей его работу (<http://www.kremlin.ru/acts/bank/47531>¹; <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47532>)².

«Биоресурсные коллекции и комплекс технологий по их сохранению, изучению и практическому использованию являются сегодня основой биоэкономики, биобезопасности, продовольственной безопасности. Это фундамент, на котором базируются производственные цепочки, ведущие от фундаментальных исследований к различным технологическим направлениям и отраслям промышленности»³.

21–24 июня 2022 г. в Санкт-Петербурге состоялся Первый научный форум «Генетические ресурсы России», впервые объединивший на профильном крупномасштабном мероприятии представителей отечественных организаций – держателей биологических коллекций разного типа⁴. «В связи с актуальностью развития в Российской Федерации законодательной базы в сфере регулирования деятельности биологических коллекций и биоресурсных центров, в частности национальных биоресурсных центров»⁵, 17 июня 2022 г. в рамках Первого научного форума на площадке ВИР под эгидой Вавиловского общества генетиков и селекционеров и Минобрнауки России состоялся междисциплинарный круглый стол «Нормативно-правовое регулирование и стандарты работы с биоресурсными коллекциями», участниками которого стали отечественные ученые-биологи, делегированные представители учреждений – держателей крупнейших биологических коллекций России и специалисты в области права.

Огромное мировое значение для развития исследований в области генетических ресурсов растений имело создание в 1894 г. Бюро по прикладной ботанике при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ (правопродшественник ВИР). Руководителями Бюро были известные ученые в области русской ботаники А. Ф. Баталин, А. А. Фишер-фон-Вальдгейм (директор Императорского Санкт-Петербургского ботанического сада), И. П. Бородин, Р. Э. Регель. Создание Бюро способствовало началу комплексной, систематической работы по мобилизации, сохранению, оценке и всестороннему изучению сортового и видового разнообразия сельскохозяйственных культур.

В текущем году ВИР отметил 175-летие со дня рождения двух выдающихся ученых, чьи судьбы тесно связаны с Бюро по прикладной ботанике – А. Ф. Баталина и И. П. Бородин.



А. Ф. Баталин

Александр Федорович Баталин (1847–1896) – профессор, физиолог, флорист-систематик, один из основателей прикладной ботаники в России, исследователь культурных растений, первый заведующий Бюро по прикладной ботанике Ученого комитета Министерства земледелия и государственных имуществ (1894–1896). Значимой заслугой А. Ф. Баталина явилось издание монографических описаний произрастающих в России растений: бобовых, гречихи, крестоцветных, масличных растений, проса, полбы, риса и др., что положило начало систематическому научному изучению культурных растений. Были предложены первые классификации разновидностей этих культур, проведено исследование русских сортов растений.

Иван Парфеньевич Бородин (1847–1930) – академик Императорской Санкт-Петербургской академии наук, анатом, физиолог растений, один из родоначальников движения за охрану природы, заведующий Бюро по прикладной ботанике (1899–1904), первый президент Русского ботанического общества (1915–1930), организатор Первого Всероссийского съезда ботаников в Петрограде (1921), Вице-Президент АН СССР, талантливый педагог, видный общественный деятель. Академику Бородину «принадлежит приоритет в решении многих актуальных вопросов физиологии высших растений как научной основы рационального земледелия и повышения урожайности и продуктивности сельскохозяйственных культур»⁶. В Бюро по прикладной ботанике И. П. Бородиным были предприняты первые попытки в направлении исследований по прикладной ботанике. «Они расширились, когда в 1900 г. в помощь себе, как заведующему, на работу в Бюро Бородин пригласил Регеля. <...> Позднее Боро-

¹ О Национальном центре генетических ресурсов растений: Указ Президента Российской Федерации от 08.02.2022 № 44. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47531> [дата обращения: 12.11.2022].

² Указ Президента Российской Федерации от 08.02.2022 № 45 «О Межведомственной комиссии по вопросам формирования, сохранения и использования коллекций генетических ресурсов растений». Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47532> [дата обращения: 12.11.2022].

³ Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30

⁴ Тихонович И.А., Гельтман Д.В., Чернецов Н.С., Михайлова Н.А., Глотов А.С., Хлесткин В.К., Ухатова Ю.В., Заварзин А.А., Нижников А.А., Хлесткина Е.К. Об итогах Первого научного форума «Генетические ресурсы России»: перспективы развития, научно-исследовательский и научно-практический потенциал биоресурсных коллекций. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(2):38–47. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-04

⁵ Хлесткина Е.К., Захарова М.В., Нижников А.А., Гельтман Д.В., Чернецов Н.С., Михайлова Н.А., Глотов А.С., Хлесткин В.К., Заварзин А.А., Мохов А.А., Тихонович И.А. Первый научный форум «Генетические ресурсы России» – о правовом регулировании в сфере биоресурсов и биологических коллекций. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(2):50. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-02

⁶ Власюк П.А., Капитанчук В.А. Иван Парфеньевич Бородин. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1977;9(3):328–330.

дин предложил Регелю, имевшему ранее большой опыт в области развития садоводства, начать изучение возделываемых в России форм ячменя. Выбор этой культуры Бородин мотивировал значительным разнообразием ее форм и финансовыми возможностями Бюро. По всей России по его инициативе были разосланы запросы – просьбы о высылке в Петербург местных сортов ячменя. Уже в 1901 г. в Бюро, размещенном тогда на Кафедре ботаники Лесного института, поступило 302 образца ячменя, этой одной из древнейших злаковых культур. Так Бородин дал старт изучению сельскохозяйственных возделываемых растений в России⁷. В честь 50-летия научной деятельности И. П. Бородина сотрудники Бюро по прикладной ботанике (Р. Э. Регель и др.) направили в его адрес приветственное письмо, в котором говорилось: «Вы известны всему просвещенному миру, но Вы особенно дороги нам и как наш учитель и как бывший заведующий нашего Бюро, заложивший прочную основу для его развития»⁸. В 1923 г. академик И. П. Бородин был избран почетным членом Отдела прикладной ботаники и селекции Государственного института опытной агрономии.



И. П. Бородин

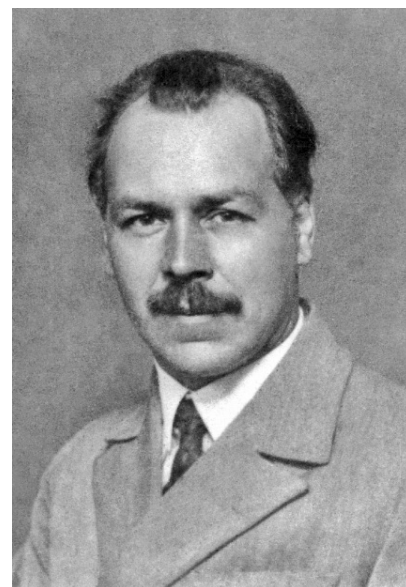


Р. Э. Регель

В 2022 г. исполнилось 155 лет со дня рождения известного ботаника Роберта Эдуардовича Регеля (1867–1920). Регель занимал пост бессменного заведующего Бюро по прикладной ботанике с 1904 по 1920 г. Продолжая исследования, заложенные в работах его предшественников А. Ф. Баталина и И. П. Бородина, Регель привнес комплексный подход в изучение как культурных, так и сорных растений, сделал попытку совместить классические ботанические знания с практическими методами в изучении возделываемых растений. Он стремился приложить к культурным растениям принципы систематики, увязав их с агрономическими признаками сельскохозяйственных культур. «В этом отношении Р. Э. Регеля можно считать основоположником научно обоснованной прикладной ботаники или прикладной систематики»⁹. «Из скромного небольшого учреждения энергий Р. Э. Регеля Бюро сделалось центром изучения культурных растений в России, вошло в сношения с различными учреждениями Западной Европы и Америки»¹⁰. Отдел прикладной ботаники начал продуктивно развиваться начиная с 1906/1907 г. Выходит в свет издание «Труды Бюро по прикладной ботанике», основанное Р. Э. Регелем (1908), в регионах России открываются отделения по прикладной ботанике, заложена коллекция сортов возделываемых растений из разных губерний Российской Империи и зарубежных стран. Регель, говоря о предназначении прикладной ботаники, подчеркивал: «Прикладная ботаника есть специальная отрасль общей ботаники, избравшая своим объектом возделываемые, а также дикорастущие полезные, сорные и вредные растения; таким образом она является лишь специальной отраслью общей ботаники, ограничиваемой выбором имеющих отношение к сельскому хозяйству и подлежащих научному изучению растений. Прикладное значение работ по этой отрасли определяется значением растения, являющегося объектом данной работы, в экономике и хозяйстве страны. Этим самым определяются и основные задачи Бюро по прикладной ботанике, заключающиеся в изучении возделываемых, а также дикорастущих полезных, сорных и вредных растений Российской Империи»¹¹.

«В наследство своему преемнику Н. И. Вавилову, избранному 13 октября 1920 г. заведующим Отделом прикладной ботаники и селекции СХУК Наркомзема РСФСР, он [Р. Э. Регель – прим. ред.] оставил немалый по тем временам штат для научного учреждения: только в Петрограде около 40 сотрудников; интенсивно и плодотворно работающие в годы разрухи Саратовское отделение (зав. Н. И. Вавилов) и Каменно-Степную станцию Воронежского отделения (зав. А. И. Мальцев), а также доброе имя и мировую известность Отдела и издаваемых им «Трудов по прикладной ботанике и селекции», на титуле которых до реорганизации в 1932 г. сохранялась надпись «основаны Р. Э. Регелем»¹². В настоящее время на титуле всех выпусков каждого тома «Трудов по прикладной ботанике и селекции» указано «основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.».

Одним из главных событий прошедшего года стали юбилейные мероприятия, посвященные 135-летию со дня рождения академика Николая Ивановича Вавилова (1887–1943) – выдающегося ученого, ботаника-растениевода, генетика-селекционера, географа, основателя мировой коллекции культурных растений, директора ВИР (1920–1940). Вавилов является организатором масштабных работ по созданию региональных станций и их отделений, основными задачами которых было поддержание и размножение коллекций, определение селекционной ценности растений, а также их использования в практической работе. В этом году Пушкинские лаборатории ВИР (до 1939 г. – Центральная селекционная и генетическая станция, ныне – научно-производственная база (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»), созданные в 1922 г., от-



Н. И. Вавилов

⁷ Манойленко К. В. Иван Парфеньевич Бородин, 1847–1930 / ответственный редактор Э. И. Колчинский. Москва: Наука, 2005. С. 203.

⁸ ПФА РАН. Ф. 125. Оп. 1. Д. 27. Л. 7.

⁹ Лоскутов И. Г. Роберт Эдуардович Регель (1867–1920) – заведующий бюро по прикладной ботанике. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):124. DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-122-132

¹⁰ Вавилов Н. И. «Жизнь коротка, надо спешить». Москва: Советская Россия; 1990. С. 464.

¹¹ Регель Р. Э. Организация и деятельность Бюро по прикладной ботанике за первое двадцатилетие его существования (27 окт. 1894 – 27 окт. 1914). *Труды Бюро по прикладной ботанике*. 1915;8(4/5):357.

¹² Гончаров Н. П. Первые заведующие Бюро по прикладной ботанике и организаторы Госсортсети / ответственный редактор И. К. Захаров. Новосибирск: Гео; 2009. С. 58.

праздновали свой столетний юбилей (http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2021/10/Geneticheskie-resursy-rastenij-dlya-geneticheskikh-tehnologij_-k-100-letiyu-Pushkinskih-laboratorij-VIR_2022-2.pdf)¹³.

В настоящем выпуске редакция приводит список работ Н. И. Вавилова, опубликованных в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции». Читателям также предоставлен список научных статей, опубликованных в нашем журнале в период с 1913 по 2022 г., о жизни и деятельности великого русского ученого Н. И. Вавилова, обогатившего мировую науку исследованиями первостепенной значимости.

С 21 по 25 ноября 2022 г. ВИР провел V Вавиловскую международную конференцию (совместно с V Международной научной конференцией «Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы» и Санкт-Петербургским научным центром РАН). Обсуждались вопросы генетических ресурсов растений: сохранение, изучение, использование. В рамках конференции прошла молодежная конференция «Поколение F3 – к 135-летию со дня рождения Н. И. Вавилова», были проведены круглые столы: «Соратники и последователи Н. И. Вавилова – в регионах России», «Сорные растения: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции», «100 лет научному обеспечению эффективного использования генетических ресурсов бобовых в России», «Тритикале – культура будущего: к 85-летию У. К. Куркиева», «Рожь: вчера, сегодня, завтра (генетика, селекция, разнообразие и т. п.) – памяти почетного профессора ВИР В. Д. Кобылянского».



У. К. Куркиев



Г. В. Еремин

25 мая 2022 г. исполнилось 90 лет почетному профессору ВИР академику РАН Геннадию Викторовичу Еремину. Вклад этого выдающегося селекционера в развитие отечественного и мирового садоводства сложно переоценить: более 10% от всех площадей, занятых в Российской Федерации многолетними плодовыми и ягодными культурами, представлены селекционными достижениями академика Еремина. Созданные им подвой косточковых культур позволяют закладывать высокотехнологичные сады интенсивного типа. За высокий уровень экономической эффективности в производстве их ценят не только в России, но и в мире. Эти достижения внедрены во всех частях света – Европе, Азии, Африке, Австралии, Америке (Северной и Южной). Настоящий последователь великого соотечественника Николая Ивановича Вавилова Геннадий Викторович Еремин сумел собрать одну из крупнейших в мире генетических коллекций дикорастущих и культурных видов косточковых плодовых культур. Это результат более 20 экспедиций. Ценный генофонд регулярно пополняется, изучается и широко используется в селекционных программах. Благодаря академику Еремину появилась новая культура – слива русская (*Prunus × rossica* Eremin). Им опубликовано около 600 научных работ, подготовлено 6 докторов и 35 кандидатов наук. Геннадий Викторович и сегодня на своем посту – ведет селекционную работу и передает свой бесценный опыт молодым специалистам.

Список фотографий¹⁴.

Главный редактор профессор РАН Е. К. Хлесткина и редакция журнала «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» благодарят авторов, рецензентов, членов редакционной коллегии и редакционного совета за плодотворное сотрудничество в 2022 г.

Редакция.

¹³ Генетические ресурсы растений для генетических технологий: к 100-летию Пушкинских лабораторий ВИР: материалы Всероссийской научно-практической конференции: тезисы докладов, Санкт-Петербург, 22–23 июня 2022 г. Санкт-Петербург: ВИР; 2022. 234 с. URL: http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2021/10/Geneticheskie-resursy-rastenij-dlya-geneticheskikh-tehnologij_-k-100-letiyu-Pushkinskih-laboratorij-VIR_2022-2.pdf [дата обращения: 12.11.2022].

¹⁴ Фотографии: Александр Федорович Баталин (1847–1896): [портр.]. В кн.: Манойленко (Рязанская) К.В. А.Ф. Баталин – выдающийся русский ботаник XIX века. Москва; Ленинград: Изд-во Академии наук СССР, [Ленинградское отделение]; 1962. С. [2]; И. П. [И.П. Бородин] вскоре после избрания его академиком: [портр.]. В кн.: Юбилейный сборник, посвященный И.П. Бородину / под редакцией А.А. Ячевского. Ленинград: Государственное Русское ботаническое общество; 1927. С. 25; Роберт Эдуардович Регель: [портр.]. Труды по прикладной ботанике и селекции. 1922;12(1):[1] отд. л.; Вавилов Н.И. Архив ВИР; Куркиев У.К. В кн.: Развитие научного наследия Н.И. Вавилова по генетическим ресурсам его последователями: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием посвященная 80-летию Куркиева Уллубия Киштилиевича: материалы докладов, сообщений, Дербент, 26–29 июня 2017 г. Дербент; 2017. С. 11; Еремин Г.В. URL: <http://www.vir.nw.ru/eremin/> [дата обращения: 12.11.2022].

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 634.11:631.52-632

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-12-18



Биологическое разнообразие и селекционное использование восточноазиатских видов яблони

О. Н. Барсукова

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, Майкоп, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ольга Николаевна Барсукова, semenov50@mail.ru

На Майкопской опытной станции сконцентрирована и проходит изучение наиболее полная по генетическому разнообразию коллекция примитивных восточноазиатских видов яблони (секции *Docyniopsis* C.K. Schneid., *Sorbomalus* Zabel), а также продвинутые в эволюционном развитии виды секции *Gymnomeles* Koehne, распространенные на Дальнем Востоке, в Сибири, Китае, Монголии и других регионах Восточной Азии. Изучение коллекции проводили согласно методическим указаниям ВИР.

Секцию *Docyniopsis* представляет в коллекции один из древнейших видов *M. sikkimensis* (Wenz.) Koehne, обитающий в Восточных Гималаях. Коллекционная форма к-2412 характеризуется высокой урожайностью, устойчивостью к болезням и поздними сроками цветения. В коллекции содержатся 5 основных и 6 гибридных видов, относящихся к различным сериям секции *Sorbomalus*. Серия *Toringonae* (Rehd.) Lang. включает один вид – *M. sieboldii* (Regel) Rehd., распространенный в Японии, Китае и Корее. Из двух коллекционных образцов этого вида наиболее перспективным является к-43201, который отличается высокой ежегодной урожайностью, скороплодностью и высокой устойчивостью к болезням. В эту же серию вошли также несколько гибридных видов, полученных с участием *M. sieboldii*. Из них наиболее известен *M. × floribunda* Sieb. Большие перспективы для селекции имеет *M. × sargentii* Rehd. Коллекционный образец к-2428 отличается слаборослостью, скороплодностью, высокой урожайностью, декоративностью и, по многолетним данным, сохраняет иммунитет к болезням. В коллекции представлено большое разнообразие видов секции *Gymnomeles*. Среди них выделены виды, обладающие комплексом ценных признаков, включая устойчивость к болезням, высокую урожайность и другие. Особого внимания заслуживает коллекционный образец к-14945 (*M. hupehensis* (Pamp.) Rehd.), который, кроме иммунитета к болезням, высокой ежегодной урожайности и исключительной декоративности, обладает поздними сроками цветения в отличие от других видов секции *Gymnomeles*.

Ключевые слова: устойчивость к болезням, урожайность, скороплодность, декоративность

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Барсукова О.Н. Биологическое разнообразие и селекционное использование восточноазиатских видов яблони. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2022;183(4):12-18. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-12-18

MOBILIZATION AND CONSERVATION OF THE GENETIC DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-12-18

Biodiversity of East Asian apple-tree species and their use in breeding

Olga N. Barsukova

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experimental Station of VIR, Maikop, Russia

Corresponding author: Olga N. Barsukova, semenov50@mail.ru

Maikop Experiment Station of VIR maintains and studies the richest genetic diversity of primitive East Asian apple-tree species, including the sections *Docyniopsis* C.C. Schneid. and *Sorbomalus* Zabel. In addition, the research covers species of the *Gymnomeles* Koehne section, more advanced in evolutionary development, which, in addition to Siberia and the Far East, are also spread in China, Mongolia and other regions of East Asia. The collection is studied according to VIR's guidelines.

The *Docyniopsis* section is represented by one of the oldest *Malus* spp. in the collection – *M. sikkimensis* (Wenz.) Koehne, inhabiting the Eastern Himalayas. Accession k-2412 is characterized by high yield, disease resistance, and late flowering. The collection contains 5 main species and 6 hybrid ones, belonging to various series of the *Sorbomalus* section. The *Toringonae* series (Rehd.) Lang. includes *M. sieboldii* (Regel) Rehd., spread in Japan, China, and Korea. Of the two accessions of this species, the most promising is k-43201, with a high annual yield, early start of fruiting, and high resistance to diseases. The same series also includes several hybrid species obtained with the participation of *M. sieboldii*. The most well-known of them is *M. × floribunda* Sieb. Great prospects for breeding are observed in *M. × sargentii* Rehd. Accession k-2428 is characterized by a short stem, early start of fruiting, high yield, ornamental traits and, according to long-term data, stable immunity to diseases. The collection harbors a broad diversity of species from the *Gymnomeles* section. Among them, there are species with a set of valuable traits, including disease resistance, high yield, etc. The most promising is *M. hupehensis* (Pamp.) Rehd. (k-14945): in addition to disease immunity, it demonstrates high annual yields, exceptional ornamental qualities, and late flowering, in contrast to other species of the *Gymnomeles* section.

Keywords: apple tree, disease resistance, yield, early start of fruiting, ornamental qualities

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding".

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Barsukova O.N. Biodiversity of East Asian apple-tree species and their use in breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):12-18. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-12-18

Введение

Мобилизация, сохранение и комплексное изучение генофонда дикорастущих видов яблони проводится с целью выделения источников и доноров хозяйственно ценных признаков для селекционного использования при создании новых высокопродуктивных, скороплодных сортов, устойчивых к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам, с высоким качеством плодов с ценным биохимическим составом.

Материалы и методы

В коллекции дикорастущих видов яблони имеются представители всех основных центров происхождения, среди которых первичный восточноазиатский отличается наибольшим разнообразием по составу и обладает огромным потенциалом генетически доминантных признаков. Поэтому «для европейской селекции на иммунитет плодовых деревьев исключительный интерес представляют виды и сорта груши, яблони, персика, айвы и сливы Китая и Японии, устойчивых к нашим заболеваниям» (Vavilov, 1964, p. 360).

Дифференциация первичных форм яблони, которая произошла еще в третичном периоде на обширной территории Центральной и Восточной Азии, привела к обособлению наиболее примитивных форм представителей рода *Malus* Mill. (Langenfeld, 1991). В статье дана характеристика коллекционных форм восточноазиатских видов, включая секции *Docyniopsis* C.K. Schneid. и *Sorbomalus* Zabel. Кроме того, включены виды секции *Gymnomeles* Koehne, также распространенные на азиатском материке, которые, кроме Сибири и Дальнего Востока, охватывают некоторые регионы Монголии, Китая, достигая Западных Гималаев (Langenfeld, 1991).

Изучение коллекции проводили согласно методическим указаниям ВИР (Krivchenko, 1972; Nesterov, 1986). Для апробации видов использовались помологические описания (Nesterov, 1977; Langenfeld, 1991). Краткое описание и фотографии коллекционных видов даны в атласе (Barsukova, 2012).

Результаты и обсуждение

В процессе изучения коллекции основное внимание уделено иммунологической характеристике генофонда. Выделены виды, обладающие иммунитетом или высокой устойчивостью к болезням – парше (*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.), мучнистой росе (*Podosphaera leucotricha* Salm.), бурой пятнистости листьев (*Phyllosticta mali* Pril. et Del.) (таблица).

Кроме того, дано краткое описание морфологических особенностей коллекционных видов и выделены формы с ценными хозяйственно-биологическими признаками, включая высокую урожайность, скороплодность, слаборослость, поздние сроки цветения, декоративность и другие.

Секцию *Docyniopsis* C.K. Schneid. (яблони доциниевидные) представляет в коллекции один из древнейших и примитивных видов рода *Malus* – яблоня сиккимская (*M. sikkimensis* (Wenz.) Koehne). В дикорастущем состоянии распространена в Восточных Гималаях, а также в Непале и Индии. Коллекционная форма яблони сиккимской (к-2412) получена из Млеевской опытной станции плодководства еще в 1931 г. Характерные признаки – наличие крепких колючек на стволе и ветвях, сильное опушение

листьев с нижней стороны. Цветение позднее, обычно в I декаде мая. Плоды грушеобразной формы, в диаметре 1,3–1,5 см, желто-красные. Чашелистики на плодах остающиеся. Урожайность высокая, но периодичная. Обладает иммунитетом к парше, в слабой степени поражается мучнистой росой и бурой пятнистостью.

Секция рябиновидных яблонь (Sec. *Sorbomalus* Zabel) наиболее крупная и разнообразная в роде *Malus*. Виды секции *Sorbomalus* сформировались еще в третичном периоде и распространились в Центральной и Восточной Азии, а также на Тихоокеанском побережье Северной Америки (Langenfeld, 1991). В коллекции станции содержатся пять основных и шесть гибридных видов секции *Sorbomalus*, которые подразделяются еще на три серии. Серия *Yunnanenses* Rehd. (юньнаньские яблони) представлена в коллекции видом *M. honanensis* Rehd. – яблоня хэнаньская, распространенная в центральных районах Китая (провинции Хэнань и Шэньси). Коллекционная форма (к-13103) получена в 1957 г. из Китая. Представляет собой небольшое дерево с округлой редкой кроной. Листья яйцевидные, с широкими лопастями. Цветки мелкие, в щитковидных соцветиях. Цветение позднее (I–II декада мая). Плоды мелкие, в диаметре до 1,0 см. Урожайность слабая. Образец устойчив к мучнистой росе, в средней степени поражается паршой и очень восприимчив к бурой пятнистости. Отличительной особенностью коллекционной формы является высокое содержание аскорбиновой кислоты в плодах. Средние показатели за три года – 79,1 мг/%.

В серию *Kansuenses* Rehd. входят разнообразные виды, распространенные в горах Центрального и Юго-Западного Китая. Коллекционная форма *M. kansuensis* (Batal.) C.K. Schneid. – яблоня ганьсуйская (к-2355) – получена из Китая в 1931 г. Это небольшое дерево с 3–5-лопастными листьями и мелкими плодами с опадающей чашечкой. Имеет поздние сроки цветения. Отличается исключительной скороплодностью. Цветет и плодоносит с первого года после посадки в сад. Плоды желто-коричневые, удлинено-округлые, с опадающими чашелистиками. Содержание сухих веществ – 32,3%, сахаров – 9,9%, аскорбиновой кислоты – 15 мг/%. Урожайность средняя. Образец характеризуется иммунитетом к парше и мучнистой росе и восприимчивостью к бурой пятнистости листьев.

Яблоня торинговидная – *M. toringoides* (Rehd.) Hugh (к-14946) – получена в коллекцию из Германии в 2003 г. Это небольшое дерево с редкой раскидистой кроной. Листья глянцевые, 3–5-лопастные. Плоды удлинено-грушевидной формы (до 1,5 см в длину). При полном созревании приобретают красивую ярко-малиновую окраску. Содержание сахаров – 21,1%, аскорбиновой кислоты – 12,5 мг/%. Урожайность высокая. Плоды долго не осыпаются, и до поздней осени дерево выглядит очень декоративно. Образец устойчив к мучнистой росе, но поражается паршой и бурой пятнистостью листьев. В коллекции имеются еще две формы яблони торинговидной (к-14960, к-14959), которые имеют более крупные и округлые плоды (в диаметре до 2,5 см), также обладающие декоративной ценностью и пригодны для технической переработки. В эту же серию входит яблоня переходная – *M. transitoria* (Batal.) C.K. Schneid., которая по своим признакам близка к яблоне торинговидной. Распространена в некоторых районах Китая и Монголии, достигая высоты 4000 м н. у. м. По мнению И. Т. Васильченко (Vasilchenko, 1963), является наиболее выносливой к неблагоприятным условиям среды по сравнению с другими видами. Коллекционная форма (к-2424) получена станцией еще

Таблица. Устойчивость к болезням некоторых восточноазиатских и сибирских видов, разновидностей и гибридных форм яблони**Table. Disease resistance of some East Asian and Siberian apple-tree species, varieties, and hybrid forms**

№ каталога	Название образца	Секция	Серия	Поражение (балл)		
				Парша	Мучнистая роса	Бурая пятнистость
2412	<i>M. sikkimensis</i>	<i>Docyniopsis</i>	–	1	2	1
13103	<i>M. honanensis</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Yunnanenses</i>	3	0	4
2356	<i>M. kansuensis</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Kansuenses</i>	0	0	3
14946	<i>M. toringoides</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Kansuenses</i>	3	0	3
2424	<i>M. transitoria</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Kansuenses</i>	3	0	3
2322	<i>M. sieboldii</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	4	0	2
43201	<i>M. sieboldii</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	0	0	1
2428	<i>M. × sargentii</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	0	0	0
2346	<i>M. × floribunda</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	0	0	2
2312	<i>M. × arnoldiana</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	4	1	2
2427	<i>M. × zumi</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	4	0	3
2407	<i>M. × scheideckeri</i>	<i>Sorbomalus</i>	<i>Toringonae</i>	4	2	2
2319	<i>M. baccata</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	1	0	2
2327	<i>M. baccata</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	0	0	1
2317	<i>M. baccata</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	0	0	1
2316	<i>M. baccata</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	1	0	1
14947	<i>M. mandshurica</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	0	0	1
41277	<i>M. mandshurica</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	0	0	1
41275	<i>M. sachalinensis</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	0	0	1
890	<i>M. sachalinensis</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	0	0	1
29494	<i>M. × cerasifera</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Baccatae</i>	1	0	2
14945	<i>M. hupehensis</i>	<i>Gymnomeles</i>	<i>Hupehenses</i>	0	0	0
Межвидовые гибриды						
41286	<i>M. × sargentii</i> × Ренет Симиренко			0	0	1
41289	<i>M. sieboldii</i> × Спартан			0	0	1
15461	(<i>M. sieboldii</i> × Спартан) × Роллс			0	0	2
41285	<i>M. × floribunda</i> × Ренет Симиренко			0	1	2
14965	<i>M. × floribunda</i> × Кинг Девид			0	0	3

в 1932 г. из Германии. Представляет собой небольшое дерево, листья сильно рассечены, пятилопастные. Цветение позднее, в I декаде мая. Плоды шаровидные, очень мелкие (до 0,6–0,8 см в диаметре). Урожайность слабая. Аскорбиновой кислоты в плодах – 11,9 мг/%, сумма сахаров – 13,0%. Образец восприимчив к парше и бурой пятнистости листьев.

Серия *Toringonae* (Rehd.) Lang. включает один вид – *M. sieboldii* (Regel) Rehd. (яблоня Зибольда). В коллекции представлена двумя формами. Одна из них (к-2322) получена еще в 1937 г. из Уманского СХИ (Украина), другая (к-43201) – из Главного ботанического сада (Москва) в 2004 г. Это невысокие деревья с раскидистой густой кроной. Листья мелкие, овальные, на ростовых побегах 3–5-лопастные. Плоды мелкие (0,6–0,8 см в диаметре). Коллекционные формы резко различаются в отношении устойчивости к болезням. Наиболее ценным для селекции является образец к-43201, который, кроме высокой урожайности и скороплодности, обладает иммунитетом к парше и мучнистой росе.

Очень перспективным является гибрид *M. sieboldii* × Спартан (к-41209), полученный в 1982 г. из Белорусского НИИ плодоводства и овощеводства. Образец отличается высокой урожайностью, скороплодностью, декоративностью и устойчивостью к болезням. Плоды шаровидные, в диаметре до 2,3 см, желтые с ярко-красной покровной окраской. Содержание сахаров – 15,2%, аскорбиновой кислоты – 12,4 мг/%. На его основе на станции получен гибрид (*M. sieboldii* × Спартан) × Роллс (к-15461), который также перспективен для дальнейшего селекционного использования. Дерево слаборослое, с широкоокруглой кроной, очень урожайное. Плоды удлиненные, в диаметре до 4,0 см. При полном созревании приобретают очень нарядную ярко-малиновую окраску кожицы. Вкус кисло-сладкий. Содержание сахаров – 10,6%, аскорбиновой кислоты – 19,2 мг/%. Обладает иммунитетом к парше и мучнистой росе.

В серию *Toringonae* вошли также некоторые гибридные виды, образованные с участием *M. sieboldii* (Regel) Rehd. Среди них яблоня обильноцветущая – *M. × floribunda* Sieb. (*M. baccata* × *M. sieboldii*). Распространена в Японии как декоративное растение. Коллекционная форма (к-2346) поступила в 1932 г. из Германии. Представляет собой небольшое дерево с раскидистой пониклой кроной, очень скороплодное, урожайное, обладает иммунитетом к парше и мучнистой росе. Плоды мелкие, в диаметре 8–10 мм, желто-оранжевые, кислые. Содержание сахаров – 13,4%, аскорбиновой кислоты – 9,3 мг/%. Больше всего иммунных к парше сортов в отечественной и зарубежной селекции получено с участием одной из форм *M. × floribunda*, обладающей главным доминантным геном устойчивости к болезням (*Vf*). На станции также получены иммунные к парше гибриды с участием коллекционной формы яблони обильноцветущей – *M. × floribunda* × Кинг Девид и *M. × floribunda* × Ренет Симиренко. Характеризуются высокой урожайностью и декоративностью.

Другой гибридный вид – *M. × arnoldiana* Rehd. (*M. × floribunda* × *M. baccata*) (яблоня Арнольда, к-2322). По внешним признакам имеет сходство с *M. × floribunda*, но в отличие от нее сильно поражается паршой. Используется в декоративных целях. Яблоня обильноцветущая также принимала участие в происхождении гибридной яблони Шейдекера – *M. × scheideckeri* Spaeth (*M. × floribunda* × *M. × prunifolia*). Коллекционный образец (к-2407) поступил на станцию в 1937 г. Дерево среднерослое, урожайность умеренная. Отличается исключительно краси-

вым цветением. Цветки розовые, махровые (в диаметре до 4 см). В период цветения дерево сплошь покрыто цветками, выглядит очень эффектно и является одним из наиболее красивоцветущих видов в коллекции станции.

Гибридная яблоня Цуми – *M. × zumi* (*M. mandshurica* × *M. sieboldii*) – получена в коллекцию в 1931 г. Образец обладает высокой урожайностью, скороплодностью, декоративностью, устойчивостью к мучнистой росе. У одной из форм *M. × zumi* выявлен ген *Pl₂* устойчивости к мучнистой росе (Brown, 1975).

Среди видов, примыкающих к серии *Toringonae*, особое место занимает яблоня Саржента – *M. × sargentii* Rehd. По некоторым источникам, яблоня в дикорастущем состоянии произрастает в Японии, где культивируется как декоративное растение (Vasilchenko, 1963; Nesterov, 1977). В. Т. Лангенфельд (Langenfeld, 1991) считает *M. × sargentii* яблоней гибридного происхождения из-за отсутствия точных данных о распространении в природе. В коллекции имеется две формы яблони Саржента. Наибольший интерес представляет форма к-2428, интродуцированная еще в 1937 г. из Японии. Это невысокое дерево (до 2 м) с горизонтально расположенными ветвями. Листья темно-зеленые, глянцевые, овальные, на ростовых побегах трехлопастные. Образец скороплодный, очень урожайный, декоративный. Цветки мелкие, белые, с сильным ароматом. Плоды шаровидные, в диаметре 0,6–0,8 см, темно-красные, кислые. Созревают в сентябре и долго остаются на дереве. Содержание сухих веществ – 33,2%, сахаров – 12,1%, аскорбиновой кислоты – 11,0 мг/%. По многолетним данным, форма *M. × sargentii* (к-2428) сохраняет иммунитет к основным болезням и в проводимых нами анализирующих скрещиваниях дает выход гибридных семян, устойчивых к парше (от 51,2 до 77,1%) и мучнистой росе (до 80%). Моногенный характер наследования устойчивости к мучнистой росе был установлен у одной из форм *M. × sargentii* (78-84) (Sedov, 2011). На станции получен гибрид *M. × sargentii* × Ренет Симиренко (к-41286), обладающий комплексным иммунитетом к парше и мучнистой росе, незначительно поражается бурой пятнистостью листьев. Урожайность высокая и ежегодная. Плоды шаровидные, в диаметре до 2 см. Вкус плодов кисло-сладкий. Содержание сухих веществ – 27,9%, сахаров – 10,1%, аскорбиновой кислоты – 13,1 мг/%. Гибрид имеет перспективы для дальнейшего селекционного использования.

В третичном периоде в Гималаях сформировались мелкоплодные ягодные яблони (Сек. *Gymnomeles* Koehne), которые распространились затем на северо-восток и юго-восток, севернее ареала рябиновидных яблонь (Langenfeld, 1991). В коллекции представлены две серии секции *Gymnomeles*. Наиболее обширная из них – series *Baccatae* Rehd. Основной вид – *M. baccata* (L.) Borkh. – яблоня ягодная. Вид распространен на обширной территории, включая юго-восточный район Сибири, в Амурском и Приморском краях, а также в Монголии, Северном Китае и Корее. В коллекции собрано 11 форм *M. baccata* из различных опытных станций и ботанических садов страны, а также экспедиционных сборов на Дальнем Востоке. Представляют собой небольшие деревья с густой шаровидной кроной. Цветение ежегодное, очень сильное, проходит во второй половине апреля. Плоды мелкие (0,6–1,0 см в диаметре), темно-красные или желто-оранжевые, с опадающими чашелистиками. Плоды долго не осыпаются, иногда остаются на всю зиму. В таблице указаны четыре формы *M. baccata*, которые, по многолетним данным, сохраняют иммунитет и высокую устойчивость

к болезням (к-2316, к-2317, к-2319, к-2327). Характеризуются также высокой урожайностью, скороплодностью, декоративностью. Биохимический состав плодов одной из форм (к-2327): сухого вещества – 41,1%, сумма сахаров – 10,8%, аскорбиновой кислоты – 6,7 мг/%.

В серию *Baccatae* Rehd. входит также яблоня маньчжурская – *M. mandshurica* (Maxim.) Kom., распространенная в Приморье, а также в Китае, Корее и Японии. В коллекции представлены три формы яблони маньчжурской, которые обладают иммунитетом к парше и мучнистой росе. Деревья средне- или сильнорослые, с овальной густой кроной, отличаются крупными широко-округлыми листьями с цельными краями. Плоды темно-красные, более крупные, чем у *M. baccata* (до 1,2 см в диаметре). Вкус кислый, терпкий. Содержание сахаров – 8,6%, аскорбиновой кислоты – 9,5 мг/% (к-14947). Из коллекционных образцов особенно выделяется к-41277, который, кроме иммунитета к парше и мучнистой росе, обладает высокими декоративными свойствами. Выглядит очень нарядно в период цветения и особенно осенью в момент созревания многочисленных ярких яблочек, которые долго сохраняются на дереве.

Яблоня сахалинская (*M. sachalinensis* (Kom.) Juz.) по своим признакам близка к *M. mandshurica* и, по мнению В. Т. Лангенфельда (Langenfeld, 1991), является ее подвидом (*M. mandshurica* subsp. *sachalinensis* (Kom.) Lich.). Распространена на острове Сахалин и некоторых южных островах Курильской гряды. В коллекции имеется четыре формы яблони сахалинской. В таблице представлены две из них, которые обладают иммунитетом или высокой устойчивостью к болезням, скороплодностью (особенно к-890), высокой ежегодной урожайностью. Яблоня сахалинская отличается от других видов более крупными длиннозаостренными листьями с острыми зубчатыми краями. Цветение проходит позднее яблони ягодной на 5–7 дней. Плоды шаровидные, красные, мелкие (до 1 см в диаметре), кислые. Содержание сухих веществ – 40,5%, сахаров – 13,1%, аскорбиновой кислоты – 13,9 мг/% (к-890). Кроме того, коллекционная форма к-43205 обладает декоративной ценностью. Имеет невысокую компактную форму кроны, характеризуется продолжительным обильным цветением и плодоношением.

К серии *Baccatae* Rehd. относятся также некоторые гибридные виды. Среди них *M. × cerasifera* Spach (*M. × prunifolia* × *M. baccata*) – яблоня вишнеплодная. Встречается только в культуре. Благодаря высокой морозостойкости распространена в суровых условиях Сибири и Дальнего Востока, где имеются сорта, называемые ранетками. ('Ранетка пурпуровая', 'Янтарка Алтайская' и другие) (Likhonos, 1972). В коллекции собрано 13 форм яблони вишнеплодной. По строению кроны, листьев и цветков они близки к яблоне ягодной, но имеют более поздние сроки цветения. Плоды в диаметре – 2,0–2,5 см. Отличаются скороплодностью (к-2333, к-2314, к-2342 и другие). Большинство форм обладают высокой ежегодной урожайностью (к-2458, к-2471, к-2449 и другие). Недостатком многих из них является сильная восприимчивость к парше и бурой пятнистости листьев. На этом фоне выделяется форма *M. cerasifera* (к-29499), привезенная из Ботанического сада МГУ в 1977 г. Дерево слаборослое, с широко-округлой густой кроной и поникающими тонкими ветвями. Плоды желтые, с румянцем, кисло-сладкого вкуса, до 2,3 см в диаметре. Содержание сахаров – 17,1%, аскорбиновой кислоты – 11,2 мг/%. Образец (к-29494) имеет большие перспективы как ценная декоративная форма,

обладающая устойчивостью к болезням, высокой урожайностью, слаборослостью, скороплодностью, хорошими качествами плодов, пригодных для переработки и консервирования.

Серия *Hupehenses* Lang. представлена в коллекции яблоней хубейской – *M. hupehensis* (Pamp.) Rehd. В дикорастущем состоянии обитает в Центральном и Юго-Западном Китае, а также в Бирме и Индии, в горах на высоте до 2000 м н. у. м. Коллекционная форма (к-14945) поступила в 2003 г. из Мичуринска (ВНИИСПГ). Образец заслуживает особого внимания селекционеров благодаря комплексу таких ценных признаков, как скороплодность, высокая ежегодная урожайность, иммунитет к болезням и декоративность. Кроме того, в отличие от других представителей секции *Gymnomeles*, обладает поздними сроками цветения (в I или II декадах мая), что позволяет избежать поздневесенних заморозков. Деревья слаборослые, с раскидистой кроной и поникающими ветвями. Цветки крупные (до 3 см в диаметре), ароматные. Плоды мелкие (до 1 см в диаметре), с ярко-красной покровной окраской. Вкус кислый, вяжущий. Плодоножки тонкие, длинные (3–5 см). Коллекционная форма обладает исключительно красивым цветением и плодоношением.

Таким образом, коллекционные формы восточноазиатских видов яблони, сформированные в первичном центре происхождения культуры, а также некоторые виды сибирского и дальневосточного очагов происхождения, представляют важный резерв источников хозяйственно ценных признаков. Выделены формы, которые необходимо шире использовать в селекционном процессе для получения высокопродуктивных, морозостойких, скороплодных сортов, устойчивых к комплексу болезней и обладающих ценными декоративными качествами.

References / Литературы

- Barsukova O.N. Atlas: The gene pool of wild apple-tree species (Atlas: Genofond dikorastushchikh vidov yabloni). Maikop; 2012. [in Russian] (Барсукова О.Н. Атлас: Генофонд дикорастущих видов яблони. Майкоп; 2012).
- Brown A.G. Apples. In: J. Janick, J.N. Moore (eds). *Advances in Fruit Breeding*. West Lafayette, IN: Purdue University Press; 1975. p.3-37.
- Krivchenko V.I. (ed.). Study of the resistance of fruit, berry and ornamental crops to diseases. Guidelines (Izucheniye ustoychivosti plodovyykh, yagodnykh i dekorativnykh kultur k zabolevaniyam. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1972. [in Russian] (Изучение устойчивости плодовых, ягодных и декоративных культур к заболеваниям. Методические указания / под ред. В.И. Кривченко. Ленинград: ВИР; 1972).
- Langenfeld V.T. Apple-trees. Morphological evolution, phylogeny, systematics. Riga: Zinātne; 1991. [in Russian] (Лангенфельд В.Т. Яблоня. Морфологическая эволюция, филогения, география, систематика. Рига: Зинатне; 1991).
- Likhonos F.D. The systematics of cultivated apple varieties. *Malus domestica* (Borkh.) Likh. comb. nov. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1972;46(2):3-24. [in Russian] (Лихонос Ф.Д. Систематика сортов культурной яблони – *Malus domestica* (Borkh.) Likh. comb. nov. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1972;46(2):3-24).
- Nesterov Ya.S. (comp.) Catalogue of the VIR global collection. Issue 209. Species and varieties of the genus *Malus* Mill.

- (Vidy i raznovidnosti roda *Malus* Mill.). Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 209. Виды и разновидности рода *Malus* Mill. / сост. Я.С. Нестеров. Ленинград: ВИР; 1977).
- Nestetov Ya.S. Studying the collection of pome fruit crops and identification of intensive-type cultivars, Guidelines (Izucheniye kollektsii semechkovykh kultur i vyyavleniye sortov intensivnogo tipa: Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1986. [in Russian] (Нестеров Я.С. Изучение коллекции семечковых культур и выявления сортов интенсивного типа: Методические указания. Ленинград: ВИР; 1986).
- Sedov E.N. Breeding and new apple cultivars (Selektsiya i novye sorta yabloni). Orel: VNIISPК; 2011. [in Russian] (Седов Е.Н. Селекция и новые сорта яблони. Орел: ВНИИСПК; 2011).
- Vasilchenko I.T. Apple-tree species novel for breeding (Novye dlya kultury vidy yabloni). Moscow; Leningrad; 1963. [in Russian] (Васильченко И.Т. Новые для культуры виды яблони. Москва; Ленинград; 1963).
- Vavilov N.I. Problems of crop immunity Vol. 4 (Problemy immuniteta kulturnykh rasteniy. T. 4). Moscow; Leningrad; 1964. [in Russian] (Вавилов Н.И. Проблемы иммунитета культурных растений. Т. 4. Москва; Ленинград; 1964).

Информация об авторе

Ольга Николаевна Барсукова, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Майкопская опытная станция – филиал ВИР, 385746 Россия, Республика Адыгея, Майкоп, ул. Научная, 1, semenov50@mail.ru

Information about the author

Olga N. Barsukova, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Maikop Experiment Station of VIR, 1 Nauchnaya St., Maikop 385746, Russia, semenov50@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.12.2021; одобрена после рецензирования 25.08.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 15.12.2021; approved after reviewing on 25.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.853.52: 631.526: 632.938

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29



Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей

Е. А. Васина, Е. С. Бутовец, Л. М. Лукьянчук

Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Екатерина Сергеевна Бутовец, otdelsoy@mail.ru

Актуальность. Работа посвящена изучению образцов сои, адаптированных к условиям Приморского края, по ценным хозяйственным признакам для использования в селекционной программе, направленной на создание сортов с высокой продуктивностью, качеством семян и устойчивых к неблагоприятным факторам среды.

Материалы и методы. Тестирование коллекционных образцов сои проводилось в 2019–2021 гг. в Федеральном научном центре агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки. Исследовали 213 образцов разного географического происхождения, в качестве стандарта использовали сорт 'Приморская 4'.

Результаты. По итогам испытания были выбраны перспективные для селекции генотипы сои, выделяющиеся продуктивностью, скороспелостью, высоким содержанием белка и масла в семенах, устойчивостью к болезням и неблагоприятным условиям произрастания. По продуктивности превышали стандарт более чем на 35,0% сорта 'Местная' (Россия), 'Цзилинь' (Китай), 'Montreal' (Франция), 'ХР 977-1,9' (США). Сорта '№ 075-2' (США), 'K0152' (Украина), 'Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' и 'Адсой' (Германия) характеризовались ранним созреванием (100 дней). Сорта 'Местная' (25,9%) и 'НС Атлас' (26,0%) представляли интерес для селекции на высокую масличность, 'Журавушка' (39,2%), 'ХН 4' (41,9%), 'Торлица' (41,9%) и 'ХР 977-1,9' (39,5%) – на повышенную белковость семян. Устойчивостью к септориозу отличались сорта 'Рi 6D 4182', 'ХН 4', 'Скеля' и 'НС Атлас'. По результатам оценки адаптивного потенциала наибольшую устойчивость к условиям региона продемонстрировали сорта: 'Приморская 4', 'Торлица', 'Кассиди'.

Ключевые слова: коллекция, сорт, соя, продуктивность, белок, масло, стрессоустойчивость

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану НИР по теме № 0812-2019-0024 «Получить новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):19-29. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory

Evgeniya A. Vasina, Ekaterina S. Butovets, Lyudmila M. Lukyanchuk

*Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia***Corresponding author:** Ekaterina S. Butovets, otdelsoy@mail.ru

Background. A study of the soybean gene pool adapted to the conditions of Primorsky Territory in search of useful agronomic traits is essential for further use in breeding programs.

Materials and methods. Soybean accessions from the germplasm collection were tested in 2019–2021 at the Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika. The study included 213 accessions of various origin. Cv. 'Primorskaya 4' served as the reference. An objective assessment of the potential of the said research material was made.

Results. Three years of experiments resulted in selecting promising soybean genotypes with a set of important agronomic traits for breeding programs. Compared to the reference 'Primorskaya 4', an increase of more than 35% in productivity was observed in the cultivars 'Mestnaya' (Russia), 'Jilin' (China), 'Montreal' (France), and 'XP 977-1.9' (USA). Cvs. 'No. 075-2' (USA), 'K0152' (Ukraine), 'Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' and 'Adsoi' (Germany) were characterized by earliness (100 days). Cvs. 'Mestnaya' and 'HS Atlas' may be interesting for breeders due to their highest oil content: 25.9% and 26.0%, respectively. The highest protein content was found in cvs. 'Zhuravushka' (39.2%), 'XN 4' (41.9%), 'Torlitsa' (41.9%) and 'XP 977-1.9' (39.5%). Cvs. 'Pi 6D 4182', 'XN 4', 'Skelya' and 'HS Atlas' manifested resistance to *Septoria* brown spot. The results of the assessment for adaptability potential showed that the following cultivars of different origin had the highest resistance to environmental stresses: 'Primorskaya 4' (–2.5), 'Torlitsa' (–2.0) and 'Kassidi' (–3.0).

Keywords: collection, cultivar, soybean, productivity, protein, oil, stress resistance

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to Theme No. 0812-2019-0024 "To develop new crop genotypes with high productivity and resistance to abiotic and biotic environmental factors".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Vasina E.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):19-29. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является самой популярной в мире белково-масличной культурой с широким спектром применения. Значение сои в народном хозяйстве неопределимо, особенно сейчас, когда при постоянном росте населения планеты возрастает роль сельскохозяйственных культур, используемых в пищу (Vashchenko et al., 2010). Значительный спрос со стороны пищевой промышленности на высококачественное растительное сырье является основанием для появления селекционных проектов по созданию сортов сои, обладающих комплексом адаптационных свойств и технологических преимуществ. Важная роль при этом отводится успешному подбору генетических источников урожайности и качества зерна, устойчивости к болезням, неблагоприятным эдафическим и климатическим условиям, которые будут использоваться при конструировании генотипа (Grigorieva, 2011; Novikova et al., 2018).

Как правило, далеко не все образцы мирового генофонда сои пригодны для использования в селекции из-за низкой продуктивности и адаптации, биологической и генетической несовместимости (Butovets et al., 2020; Zhou et al., 2019). Уверенно гарантировать селекционную значимость коллекционных образцов сои, способных повысить генетический потенциал урожайности вновь созданных сортов, допустимо только после многолетнего полевого изучения (Katyuk et al., 2016; Fokina, Razantzev, 2019; Ashiev et al., 2019; Kalitskaya et al., 2021; Butovets et al., 2022; Nekrasov, 2020; Gureeva, Fomina, 2006; Fomenko et al., 2006; Galichenko, Kametskaya, 2020).

В ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки ежегодно происходит пополнение коллекции новыми генотипами сои различного происхождения, которые подвергаются всесторонней оценке. Выявленные источники ценных признаков вовлекаются в селекционный процесс и используются в скрещиваниях при создании сортов сои, отвечающих требованиям сельскохозяйственного производства Приморского края – сортов, обладающих высокой продуктивностью, повышенным содержанием белка и масла в семенах, устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды.

В данной работе представлены результаты изучения образцов, поступивших в коллекцию в 2016–2018 гг.

Цель исследований – изучение образцов сои, адаптированных к условиям Приморского края, по ценным хозяйственным признакам для использования в селекционной программе.

Материалы и методы

Изучение коллекционных образцов сои проходило в 2019–2021 гг. в лаборатории селекции сои ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки».

Сумма активных температур (выше 10°C) в крае колеблется в пределах 2400–2600°C, гидротермический коэффициент (ГТК) – 1,6–2,0. В период исследований погодные условия были контрастными, что позволило объективно оценить образцы сои. По данным агрометеорологической станции «Тимирязевский» (ФГБУ «Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»), сумма осадков в мае 2019 г. составила 77,0 мм, августе – 226,5 мм. Низкий температурный фон в начальные периоды онтогенеза сои не

способствовал активному развитию, что вызвало формирование низкорослых растений и невысокую продуктивность. Погодные условия 2020 г. характеризовались повышенным температурным режимом и периодами избыточного увлажнения по сравнению со среднемноголетней нормой. В июне сумма осадков составила 193,5 мм (среднемноголетнее – 81,0), в третьей декаде августа – 75,6 мм (среднемноголетнее – 45,0), в сентябре – 129,2 мм (среднемноголетнее – 104,0). Благоприятное сочетание влаги и тепла способствовало активному росту и развитию сои. Погодные условия 2021 г. резко отличались от среднемноголетней нормы относительно продолжительными периодами без осадков и повышенным температурным режимом. Сочетание повышенной температуры воздуха и отсутствия осадков с III декады июня по II декаду августа негативно отразилось на процессе развития сои (формировались низкорослые растения, наблюдался низкий процент завязываемости бобов).

Почва экспериментального участка лугово-бурья отбеленная с тяжелым механическим составом (Ivanov, 1979).

Исследовали коллекционные образцы сои ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». В качестве стандарта использовали среднеспелый сорт 'Приморская 4', допущенный к возделыванию в Дальневосточном регионе. Опыт организован согласно методике полевого опыта (Dospekhov, 2012). Выращивание культуры проводилось в соответствии с агротехникой, принятой для Приморского края (Chaika et al., 2009). Норма высева семян – 500 тыс. шт./га. Площадь одной делянки – 1,8 м². Посев и уборку осуществляли вручную. Анализ структуры урожая сои выполняли по 20 растениям каждого образца.

Устойчивость сои к грибным патогенам выявляли на фоне естественного развития заболевания по методическим указаниям (Korsakov et al., 1979). Оценка образцов по хозяйственно ценным признакам осуществляли согласно методическим указаниям по селекции и семеноводству сои (Korsakov et al., 1975).

Содержание белка и масла в семенах сои определяли на приборе Inframatic 9200 (Pertin Instruments AB, Швеция) в лаборатории агрохимических анализов научного центра.

Статистическую обработку данных выполняли по «Методике полевого опыта» (Dospekhov, 2012) в программе Excel for Windows. Существенность различий между выборками определяли с помощью НСР (наименьшая существенная разница), силу связей между признаками рассчитывали на основе парного корреляционного анализа.

Анализ образцов по компенсаторной способности, стрессоустойчивости, продуктивности и гибкости выполняли по методике A. A. Rossielle, J. Hemblin в изложении А. А. Гончаренко (Goncharenko, 2005; Yusova et al., 2020). Стрессоустойчивость вычисляли по разнице между значениями признака ($X_{\min} - X_{\max}$). Показатели этого признака имеют отрицательный знак и показывают уровень устойчивости сортов к стрессовым условиям произрастания. Чем меньше разрыв между максимальной и минимальной продуктивностью, тем выше стрессоустойчивость сорта и тем шире диапазон его адаптационных возможностей. Характеристику по стрессоустойчивости дополняли, рассчитывая величину $(X_{\min} + X_{\max})/2$, показывающую генетическую гибкость сорта и его компенсаторную способность в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях. Генотипическую измен-

чивость, указывающую размах варьирования продуктивности, анализировали сравнивая диапазон изменчивости минимального ($X_{\min}$) и максимального значения ($X_{\max}$).

По методу, предложенному S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина, оценивали индекс условий среды (Pakudin, 1979). Индекс условий среды (Ij) определяет изменчивость условий возделывания и может принимать положительное или отрицательное значение. Лучшие условия для роста и развития растений складываются в годы с положительным знаком индекса, худшие – с отрицательным.

Результаты

Исследуемая коллекция состояла из 213 образцов сои; 35,6% было представлено российскими сортами, из них 81,4% – дальневосточной селекции. Большую часть в выборке занимал исходный материал из Китая и Канады (рисунок).

тивность, высота растений и содержание масла в семенах незначительно повышается при увеличении продолжительности периода вегетации ($r < 0,32$ – связь слабая) (табл. 1). Подобная зависимость признаков у сои была обнаружена и другими авторами (Davletov et al., 2020; Seferova et al., 2018).

Между показателями продуктивности (масса семян, число бобов и семян с растения) выявлены прямые достоверные сильные связи, коэффициент корреляции составил 0,79 и 0,84. Аналогичные результаты исследования были получены нами в более ранних работах, в которых присутствовала подобная связь продуктивности с числом бобов и семян на растении ($r = 0,72-0,88$) (Butovets et al., 2020). Обратную существенную связь наблюдали между высотой прикрепления нижнего боба и продуктивностью (см. табл. 1). Обнаруженные между признаками корреляционные зависимости (как прямые, так и обратные) упрощают работу с коллекцией и способствуют объективному отбору генотипов сои для включения в селекционный процесс.

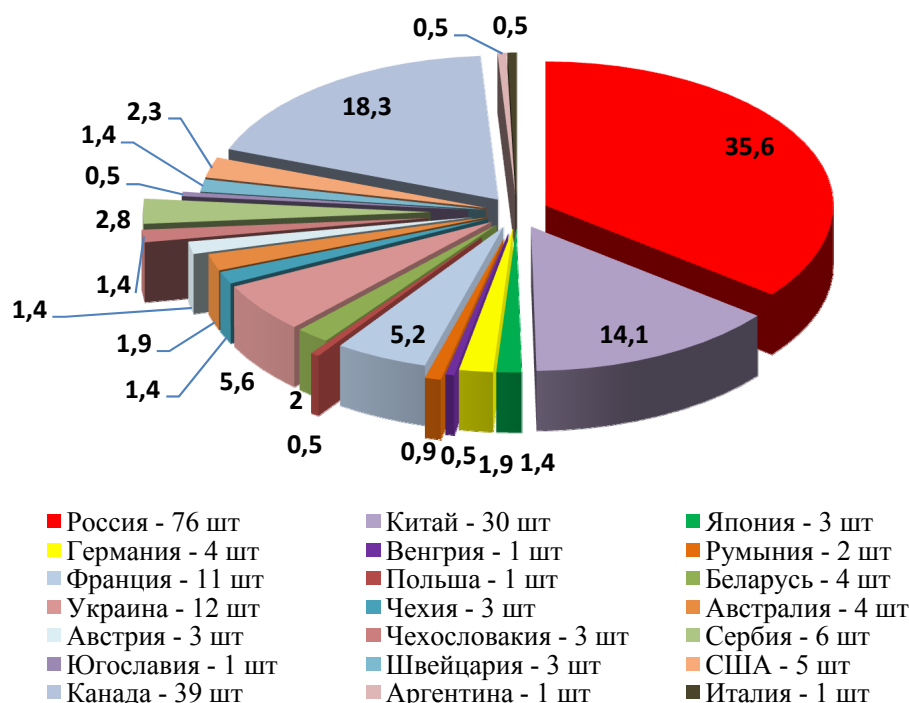


Рисунок. Распределение исследованных образцов сои по происхождению, %

Figure. Distribution of the tested soybean accessions based on their origin, %

Важным признаком, определяющим возможность выращивания сортов сои в конкретных агроклиматических условиях, является период вегетации (в.п.) (Grigorieva, 2011; Davletov et al., 2020). В нашем опыте раннеспелыми (в.п. 100 дней) были сорта из Америки ('№ 075-2'), Украины ('K0152') и Германии ('Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' и 'Адсой'). Эти образцы представляют интерес для селекции как источники более раннего созревания.

Наибольшее значение из всех изучаемых признаков в селекции сои имеет продуктивность (масса семян с растения). Для объективной оценки ценности исходного материала необходимо выявление взаимосвязей продуктивности с другими хозяйственными признаками. По результатам корреляционного анализа между средними значениями признаков за три года отмечено, что продук-

За период испытания по ряду ценных хозяйственных признаков были отобраны для использования в селекционных программах перспективные генотипы сои (табл. 2). Большая часть выделенных сортов (145 образцов, или 68,2% коллекции) относилась к средней группе спелости (период вегетации от 111 до 115 дней). Все сорта характеризовались среднерослостью. Из них по продуктивности превышали районированный стандартный сорт 'Приморская 4' 16 образцов, 4 сорта превосходили стандарт более чем на 35%. Максимальным значением этого признака характеризовался сорт французской селекции 'Montreal'.

Урожайность сои напрямую зависит от показателя «сохранность растений к моменту уборки», который характеризует адаптационную способность культуры в конкретных условиях возделывания. Погодно-эдафи-

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (r^2) между хозяйственными признаками коллекционных образцов сои, 2019–2021 гг., Приморский край**Table 1.** Correlation coefficients (r^2) among agronomic characters of soybean accessions, 2019–2021, Primorsky Territory

Признак	Масса семян с растения, г	Продолжительность периода вегетации, дни	Устойчивость к грибным болезням, %
Масса семян с растения, г	–	0,25	0,10
Высота растений, см	0,50	0,26	–0,09
Высота прикрепления нижнего боба, см	–0,47	0,06	0,09
Число бобов, шт./раст.	0,79*	0,07	–0,18
Число семян, шт./раст.	0,84*	0,05	0,20
Содержание в семенах белка, %	–0,15	–0,18	0,11
Содержание в семенах масла, %	0,18	0,25	0,15

Примечание: * – коэффициент корреляции достоверен при $p \leq 0,001$; шт./раст. – штук на растении

Note: * – the correlation coefficient is statistically significant at $p \leq 0,001$; pcs/plant – pieces per plant

Таблица 2. Характеристика перспективных образцов сои (среднее за 2019–2021 гг.), Приморский край**Table 2.** Characteristics of promising soybean accessions (mean value for 2019–2021), Primorsky Territory

Сорт	Продуктивность, г	Масса 1000 семян, г	Высота растений, см	Период вегетации, дни	Содержание в семенах, %		Сохранность растений к моменту уборки, %
					масла	белка	
Приморская 4, стандарт	8,7	160	68,1	114	22,9	38,2	75
Россия							
Приморская 1395	10,1	135	79	115	24,7	36,5	80
Приморская 1629	10,9	185	81	113	24,3	34,6	81
Витязь 50	11,2	208	51	113	22,5	37,2	75
Местная	12,0	205	45	111	25,9	33,7	57
Журавушка	10,2	185	50	111	21,6	39,2	66
ДВ 206	11,2	220	48	113	23,2	37,5	59
Октябринка 70	10,4	207	70	107	22,3	38,0	58
Pi 6D 4182	11,3	195	53	115	24,2	35,1	54
Китай							
XN 4	11,5	198	53	115	20,2	41,9	60
Цзилинь	12,2	210	46	115	24,1	36,2	55
Франция							
Лиссабон	9,8	140	57	105	22,8	35,8	61
Montreal	13,8	150	69	113	22,4	36,3	50

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Сорт	Продуктивность, г	Масса 1000 семян, г	Высота растений, см	Период вегетации, дни	Содержание в семенах, %		Сохранность растений к моменту уборки, %
					масла	белка	
Украина							
Сузирья	9,9	175	49	104	21,8	37,4	57
Торлица	9,2	160	48	103	20,6	41,9	45
Алиса	11,5	140	54	103	22,1	35,8	41
Скеля	11,1	155	78	107	24,6	35,6	43
Мальвина	10,0	145	57	113	21,4	38,1	40
Сербия							
НС Атлас	10,2	210	45	112	26,0	33,4	62
США							
ХР 977-1,9	12,2	175	73	113	22,2	39,5	63
Канада							
Кассиди	9,5	155	72	114	24,5	37,5	63
0330	9,2	145	55	105	22,7	34,2	59
НСР _{0,05}	2,0	17,2	14,1	3,5	1,8	1,2	16,4

Примечание: НСП – наименьшая существенная разность

Note: HCP – least significant difference (LSD)

ческие условия Приморского края для ряда тестируемых образцов сои были малоблагоприятными, о чем свидетельствует низкая сохранность растений на делянке, которая в среднем за три года испытаний не превысила 81,0%. Высокая урожайность, превышающая стандарт на 48,9–62,2%, отмечена у образцов 'ХР 977-1,9' (378 г/м²), 'Приморская 1629' (371 г/м²), 'Витязь 50' (370 г/м²), 'НС Атлас' (347 г/м²). Данные образцы отличались высокой продуктивностью и наибольшей сохранностью растений сои к моменту уборки. У сорта 'Цзилинь' (354 г/м²) лучшие показатели урожайности обеспечивались только за счет высокой продуктивности.

Несколько сортов российской селекции ('Витязь 50', 'Местная', ДВ 206, 'Октябрина 70'), китайской ('Цзилинь') и сербской ('НС Атлас') имели высокие значения «массы 1000 семян» (более 205 г). Эти образцы представляют ценность для ведения селекции сои на крупносемянность (см. табл. 2).

По содержанию масла в семенах около половины сортов (40,9%) превышали стандарт на 0,3–3,1%. Выделились по этому признаку образцы 'Местная' и 'НС Атлас'. Высокое содержание белка (выше стандарта на 1,0–3,7%) отмечено у сортов из России ('Журавушка'), Китая ('ХН 4'), Украины ('Торлица') и США ('ХР 977-1,9'). Отобранный материал привлекает внимание как источник для селекции сортов сои с повышенным качеством семян.

В рамках селекционной программы существует необходимость оценки образцов по устойчивости к грибным патогенам и отбора из них источников, резистентных к этим болезням. Для поиска образцов, устойчивых к септориозу, церкоспорозу и пероноспорозу, представленный набор сортов был распределен по эколого-географическим группам (ЭГГ).

Согласно шкале, разработанной по методике Н. И. Корсакова (Korsakov et al., 1979), устойчивостью к вредоносному на Дальнем Востоке патогену сои *Septoria glycines* Hemmi (возбудитель септориоза) характеризовались пять сортов ('Рi 6D 4182', 'ХН 4', 'Скеля', 'НС Атлас' и стандарт 'Приморская 4'), 17 образцов оказались среднеустойчивыми (табл. 3). К церкоспорозу (*Cercospora sojina* Nara) проявили высокую устойчивость 40,9% сортов, у шести образцов сои степень поражения была ниже стандарта 'Приморская 4' до 2,1%. Устойчивыми к пероноспорозу (*Peronospora manshurica* (Naum.) Syd. ex Gaum.) были все сорта, за исключением двух образцов из азиатской и европейской групп ('Журавушка' и 'Мальвина'), которые имели среднюю степень устойчивости. В дальнейшем сорта, которые проявили устойчивость, можно использовать в селекционном процессе как источники устойчивости к местным популяциям грибных патогенов.

По результатам исследований можно сделать предварительный вывод, что наиболее перспективными для

Таблица 3. Иммунологическая характеристика генофонда сои, 2019–2021 гг.**Table 3. Immunological characteristics of the soybean gene pool, 2019–2021**

Сорт	Септориоз		Церкоспороз		Пероноспороз	
	степень поражения, %	иммунологическая характеристика	степень поражения, %	иммунологическая характеристика	степень поражения, %	иммунологическая характеристика
Азиатская ЭГГ						
Приморская 4, стандарт	23,7	У	8,6	УУ	13,2	У
Приморская 1395	30,7	С	8,0	УУ	21,0	У
Приморская 1629	32,3	С	6,5	УУ	15,5	У
Витязь 50	27,7	С	10,0	УУ	15,0	У
Местная	29,0	С	14,0	У	12,7	У
ДВ 206	28,3	С	14,0	У	14,0	У
Журавушка	33,3	С	11,5	У	26,0	С
Октябриня 70	35,0	С	12,0	У	18,0	У
Pi 6D 4182	21,7	У	17,5	У	13,5	У
XN 4	22,7	У	9,0	УУ	13,5	У
Цзилинь	34,0	С	7,5	УУ	17,5	У
Европейская ЭГГ						
Лиссабон	34,3	С	22,5	У	20,0	У
Сузирья	38,3	С	15,0	У	14,0	У
Торлица	45,7	С	8,0	УУ	14,5	У
Алиса	40,0	С	13,0	У	13,5	У
Скеля	21,7	У	7,5	УУ	12,5	У
Мальвина	29,3	С	12,5	У	32,5	С
Montreal	29,3	С	6,5	УУ	14,5	У
НС Атлас	23,3	У	13,0	У	13,3	У
Американская ЭГГ						
ХР 977 – 1,9	27,0	С	12,5	У	15,0	У
Кассиди	29,3	С	22,5	У	12,3	У
0330	28,3	С	20,0	У	14,3	У

Примечание: УУ – высокоустойчивый, У – устойчивый, С – среднеустойчивый

Note: УУ – highly resistant, У – resistant, С – moderately resistant

интродукции устойчивых к септориозу и высокоустойчивых к церкоспорозу форм являются сорта азиатской и европейской ЭГГ. Поиск источников устойчивости к пероноспорозу возможен среди сортов трех групп.

Учитывая специфические особенности климата Приморского края, немаловажным является выявление образцов сои, адаптивных к изменяющимся погодным условиям, и вычисление статистических параметров, характеризующих устойчивость генотипов к биотическим и биотическим стрессорам.

За годы испытаний метеорологические условия носили разнообразный характер, что дало возможность объективно оценить тестируемые образцы коллекции. Индекс условий среды (Ij) в период изучения был контрастным и изменялся от +1,4 до –2,4. Среднее значение продуктивности в опыте 2019 г. равнялось 8,7 г, в 2021 г. – 5,4 г. Лучшими условиями для развития сои характеризовался 2020 г. Он отличался от других лет исследования повышенной температурой и избыточным увлажнением. В этот год индекс среды составлял наи-

большее положительное значение (1,4), а средняя продуктивность образцов сои имела самые высокие показатели – 9,2 г.

Наибольшую устойчивость к стрессовым условиям произрастания продемонстрировали сорта: 'Приморская 4' (–2,5), 'Торлица' (–2,0), 'Кассиди' (–3,0) (табл. 4). Максимальной генотипической изменчивостью и наименьшей стрессоустойчивостью (от –12,5 до –14,7) обладали образцы 'Алиса', 'Витязь 50', 'Цилинь', 'Приморская 1629'. В годы, более благоприятные для роста и развития сои, они способны формировать высокую продуктивность.

Выводы

Благоприятные условия для реализации потенциала продуктивности коллекционных сортов сои сложились в 2020 г.: индекс среды по сравнению с другими годами исследования достигал наибольшего положительного значения (1,4). По результатам анализа адаптивного потенциала образцов высокую устойчивость к стрессовым условиям произрастания продемонстрировали сорта различного происхождения: 'Приморская 4' (стрессоустойчивость = –2,5), 'Торлица' (–2,0), 'Кассиди' (–3,0).

Таблица 4. Адаптивные показатели образцов сои по продуктивности
Table 4. Adaptability parameters of soybean accessions according to their productivity

Образец	Страна-оригинатор	Стрессо-устойчивость	Генетическая гибкость	Генотипическая изменчивость
Приморская 4, ст.	Россия (Приморский край)	–2,5	8,5	7,2–9,7
Приморская 1395	Россия (Приморский край)	–8,9	10,2	5,7–14,6
Приморская 1629	Россия (Приморский край)	–12,5	11,1	4,8–17,3
Витязь 50	Россия (Приморский край)	–14,2	12,8	5,7–19,9
Местная	Россия (Хабаровский край)	–7,5	11,1	7,3–14,8
ДВ 206	Россия (Хабаровский край)	–8,6	11,0	6,7–15,3
Журавушка	Россия (Амурская область)	–6,2	9,3	6,2–12,4
Октябрина 70	Россия (Амурская область)	–10,2	12,0	6,9–17,1
Pi 6D 4182	Россия (Амурская область)	–7,7	11,3	7,4–15,1
XN 4	Китай	–10,6	10,2	4,9–15,5
Цилинь	Китай	–13,1	11,1	4,5–17,6
Лиссабон	Франция	–10,2	10,7	5,6–15,8
Montreal	Франция	–11,8	14,4	8,5–20,3
Сузирья	Украина	–11,6	10,2	4,4–16,0
Торлица	Украина	–2,0	9,1	8,1–10,1
Алиса	Украина	–14,7	12,7	5,3–20,0
Скеля	Украина	–9,1	11,8	7,2–16,3
Мальвина	Украина	–4,5	9,8	7,6–12,1
НС Атлас	Сербия	–8,7	9,6	5,3–14,0
ХР 977-1,9	США	–10,6	13,3	8,0–18,6
Кассиди	Канада	–3,0	9,2	7,7–10,7
0330	Канада	–4,5	9,8	7,6–12,1

Примечание: индекс условий среды (Ij): +0,9 в 2019 г.; +1,4 в 2020 г.; –2,4 в 2021 г.

Note: index of environmental factors (Ij): +0.9 in 2019; +1.4 in 2020; –2.4 in 2021

Показатель «генетическая гибкость» характеризует компенсаторную способность сорта в контрастных условиях выращивания. Высокой генотипической гибкостью (от 12,0 до 14,4 ед.) отличались сорта 'Montreal', 'ХР 977-1,9', 'Витязь 50', 'Алиса' и 'Октябрина 70'.

Сильная положительная связь выявлена между продуктивностью и числом бобов ($r = 0,79$) и семян на растении ($r = 0,84$). Слабые прямые и обратные зависимости определены между элементами структуры урожая и устойчивостью к болезням сои (r от –0,18 до 0,20).

По итогам испытания коллекции сои для использования в селекционной программе были выбраны перспективные по ряду хозяйственно ценных признаков генотипы. В сравнении со стандартным сортом 'Приморская 4', высокая продуктивность (> 35,0%) отмечена у сортов 'Местная' (Россия), 'Цилинь' (Китай), 'Montreal' (Франция), 'ХР 977-1,9' (США). Ранним созреванием (100 дней) характеризовались образцы сои '№ 075-2' (США), 'K0152' (Украина), 'Muzanze Stamm M 4789/74', 'SOJA 1065' и 'Ад-сой' (Германия). Наибольшее содержание масла в семенах обнаружено у сортов 'Местная' (25,9%) и 'НС Атлас' (26,0%). Высокое содержание белка в семенах выявлено у сортов из России ('Журавушка', 39,2%), Китая ('ХН 4', 41,9%), Украины ('Торлица', 41,9%) и США ('ХР 977-1,9', 39,5%). Устойчивостью к септориозу характеризовались образцы 'Pi 6D 4182', 'ХН 4', 'Скеля' и 'НС Атлас'.

References / Литература

- Ashiev A.R., Khabibullin K.N., Skulova M.V., Kravchenko N.S. The estimation of soybean initial material according to grain quality on homeostasis. *Grain Economy of Russia*. 2019;5(65):45-49. [in Russian] [Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В., Кравченко Н.С. Оценка исходного материала сои по качеству зерна на гомеостатичность. *Зерновое хозяйство России*. 2019;5(65):45-49]. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-45-49
- Butovets E.S., Lukyanchuk L.M., Vasina E.A. Comparative assessment of promising soybean varieties at the final selection stage. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022;353:219-229. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8_26
- Butovets E.S., Vasina E.A., Lukyanchuk L.M. Screening of soybean germplasm under conditions of the Primorsky territory. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(8):23-27. [in Russian] [Бутовец Е.С., Васина Е.А., Лукьянчук Л.М. Скрининг гермоплазмы сои в условиях Приморского края. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(8):23-27]. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10803
- Chaika A.K., Tilba V.A., Moiseenko A.A., Vashchenko A.P., Sinegovskaya V.T., Emelyanov A.N., Kraskovskaya N.A., Gubin A.V., Nikishin V.M., Fomenko N.D., Gaiduchenko A.N., Mashchenko N.V., Chaika N.V., Kapustin Yu.S., Stupin V.M., Morokhovets V.N. Adaptive and innovative technologies for cultivation of soybean and maize in the Russian Far East: guidelines. (Adaptivnye i progressivnye tekhnologii vozdel'yvaniya soi i kukuruzy na Dalnem Vostoke: metod. rekomendatsii). Vladivostok: Dalnauka; 2009. [in Russian] [Чайка А.К., Тильба В.А., Моисеенко А.А., Ващенко А.П., Синеговская В.Т., Емельянов А.Н., Красковская Н.А., Губин А.В., Никишин В.М., Фоменко Н.Д., Гайдученко А.Н., Машченко Н.В., Чайка Н.В., Капустин Ю.С., Ступин В.М., Мороховец В.Н. Адаптивные и прогрессивные технологии возделывания сои и кукурузы на Дальнем Востоке: метод. рекомендации. Владивосток: Дальнаука; 2009].
- Davletov F.A., Dmitriyev A.M., Gaynullina K.P., Akhmadullina I.I. The results of studies on the collection of soybeans for the purposes of selection. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2020;1(81):49-53. [in Russian] [Давлетов Ф.А., Дмитриев А.М., Гайнуллина К.П., Ахмадуллина И.И. Результаты изучения коллекции сои для селекционных целей. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020;1(81):49-53].
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial with fundamentals of statistical processing of research results (Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). Moscow: Kniga po trebovaniyu; 2012. [in Russian] [Доспехов В.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию; 2012].
- Fokina E.M., Razantzev D.R. Prospects for the use of soybean collection material used in breeding studies in Priamurye (Amur region). *Far East Agrarian Bulletin*. 2019;2(50):64-70. [in Russian] [Фокина Е.М., Рязанцев Д.Р. Перспективы использования коллекционного материала сои в селекционных исследованиях Приамурья. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2019;2(50):64-70]. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-12022
- Fomenko N.D., Belyaeva G.N., Lyashenko N.V., Shevchenko N.A. Valuable material of the soybean gene pool at the All-Russian Research Institute of Soybean (Tsenny material soi genofonda VNII soi). In: *Adaptive Technologies in Horticulture of Amur Province*. Blagoveshchensk: Far East Agrarian University; 2006. p.106-110. [in Russian] [Фоменко Н.Д., Беляева Г.Н., Ляшенко Н.В., Шевченко Н.А. Ценный материал сои генофонда ВНИИ сои. В кн.: *Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области*. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет; 2006. С.106-110].
- Galichenko A.P., Kalitskaya N.G. The assessment of the collection samples of soybean of various ecological and geographical origins in the conditions of the Amur region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020;9(162):46-52. [in Russian] [Галиченко А.П., Калицкая Н.Г. Оценка в условиях Амурской области коллекционных образцов сои различного эколого-географического происхождения. *Вестник КрасГАУ*. 2020;9(162):46-52]. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52
- Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2005;(6):49-53. [in Russian] [Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2005;(6):49-53].
- Grigorieva A.V. Estimation of soybean collection samples according to main economically-valuable features in conditions of Rostov region's southern zone. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2011; 2(148-149):86-88. [in Russian] [Григорьева А.В. Оценка коллекционного материала сои по основным хозяйственно ценным признакам в условиях Южной зоны Ростовской области. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2011;2(148-149):86-88].
- Gureeva E.V., Fomina T.A. Estimation of the collection models of soya as source material for the selection. *Legumes and Groat Crops*. 2016;1(17):40-45. [in Russian] [Гуреева Е.В., Фомина Т.А. Оценка коллекционных образцов сои как исходного материала для селекции. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016;1(17):40-45].
- Ivanov G.I. Soil formation in the south of the Russian Far East. (Pochvoobrazovaniye na yuge Dalnego Vostoka). Moscow: Nauka; 1976. [in Russian] [Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. Москва: Наука; 1976].
- Kalitskaya N.G., Galichenko A.P., Fokina E.M. Studying the soybean white and purple forms genetic collection by economically useful traits. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021;11(176):17-23. [in Russian] [Калицкая Н.Г., Галиченко А.П., Фокина Е.М. Изучение генетической коллекции болоцветковых и фиолетовоцветковых форм сои по хозяйственно полезным признакам. *Вестник*

- КрасГАУ. 2021;11(176):17-23). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-11-17-23
- Katyuk A.I., Zuev E.V., Anisimkina N.V. Sources of economically valuable traits for soybean breeding in conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2016;3(167):22-26. [in Russian] (Катюк А.И., Зуев Е.В., Анисимкина Н.В. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции сои в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2016;3(167):22-26).
- Korsakov N.I. (ed.). Guidelines for studying soybean resistance to fungal diseases (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu ustoychivosti soi k gribnym boleznyam). Leningrad; 1979. [in Russian] (Методические указания по изучению устойчивости сои к грибным болезням / под ред. Н.И. Корсакова. Ленинград; 1979).
- Korsakov N.I. (ed.). Soybean: guidelines for breeding and seed production (Soya: metodicheskiye ukazaniya po seleksii i semenovodstvu). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Соя: методические указания по селекции и семеноводству / под ред. Н.И. Корсакова. Ленинград: ВИР; 1975).
- Nekrasov A.Y. Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):48-52. [in Russian] (Некрасов А.Ю. Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):48-52). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52
- Novikova L.Yu., Seferova I.V., Nekrasov A.YU., Perchuk I.N., Shelenga T.V., Samsonov M.G. et al. Impact of weather and climate on seed protein and oil content of soybean in the North Caucasus. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):708-715. [in Russian] (Новикова Л.Ю., Сеферова И.В., Некрасов А.Ю., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Самсонов М.Г. и др. Влияние погодных-климатических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(6):708-715). DOI: 10.18699/VJ18.414
- Pakudin V.Z. Evaluating environmental plasticity of cultivars (Otsenka ekologicheskoy plastichnosti sortov). In: M.A. Fedin, V.A. Dragavtsev (eds). *Genetic analysis of quantitative traits using mathematical and statistical methods (Geneticheskiy analiz kolichestvennykh priznakov s pomoshchyu matematiko-statisticheskikh metodov)*. Moscow; 1979. p.40-44. [in Russian] (Пакудин В.З. Оценка экологической пластичности сортов. В кн.: *Генетический анализ количественных признаков с помощью математико-статистических методов* / под ред. М.А. Федина, В.А. Драгавцева. Москва; 1979. С.40-44).
- Seferova I.V., Boyko A.P., Perchuk I.N., Shelenga T.V., Sholukhova T.A. The results of testing soybean accessions at Adler Experiment Station of VIR in 2013–2015. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):143-151. [in Russian] (Сеферова И.В., Бойко А.П., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Шолухова Т.А. Результаты изучения образцов сои на Адлерской опытной станции ВИР в 2013–2015 гг. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):143-151). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-143-151
- Vashchenko A.P., Mudrik N.V., Fisenko P.P., Dega L.A., Chaika N.V., Kapustin Yu.S. Soybean in the Russian Far East (Soya na Dalnem Vostoke). Vladivostok: Dalnauka; 2014. [in Russian] (Ващенко А.П., Мудрик Н.В., Фисенко П.П., Дегя Л.А., Чайка Н.В., Капустин Ю.С. Соя на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука; 2014).
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Vasiukevich V.S., Aniskov N.I., Safonova I.V. Spring grain quality of Omsk oat varieties in the extreme environmental conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;2(55):84-96. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Васюкевич В.С., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Уровень качества зерна омских сортов овса ярового в контрастных экологических условиях. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2020;2(55):84-96). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-84-96
- Zhou Z., Lakhssassi N., Cullen M.A., El Baz A., Vuong T.D., Nguyen H.T. et al. Assessment of phenotypic variations and correlation among seed composition traits in mutagenized soybean populations. *Genes*. 2019;10(12):975. DOI: 10.3390/genes10120975

Информация об авторах

Евгения Александровна Васина, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, otelsoy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3385-995X>

Екатерина Сергеевна Бутовец, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и. о. зав. лаборатории, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, otelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2879-3570>

Людмила Михайловна Лукьянчук, научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, otelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7584-4652>

Information about the authors

Evgeniya A. Vasina, Associate Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otelsoy@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3385-995X>

Ekaterina S. Butovets, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Acting Head of a Laboratory, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2879-3570>

Lyudmila M. Lukyanchuk, Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settle., Ussuriysk 692539, Russia, otelsoy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7584-4652>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 06.05.2022; одобрена после рецензирования 10.08.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 06.05.2022; approved after reviewing on 10.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона

И. Ю. Зайцева, И. Н. Щенникова, Л. В. Панихина, Е. В. Дягилева

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Юрьевна Зайцева, irina-zajceva30@rambler.ru

Актуальность. Зерно ячменя – уникальное сырье многопланового использования. В Волго-Вятском регионе более 60% произведенного зерна идет непосредственно на кормовые цели. Одной из актуальных задач является создание высокоурожайных сортов с высоким качеством зерна с целью уменьшения дефицита белка в кормах для сельскохозяйственных животных и удовлетворения ежегодно увеличивающихся потребностей в фуражном зерне. Для ее успешного решения необходим поиск и вовлечение в селекционный процесс новых высокоурожайных и высокобелковых исходных генотипов, адаптивных к условиям Волго-Вятского региона.

Материалы и методы. Экспериментальная работа проводилась в 2018–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (г. Киров). Оценивали содержание белка в зерне, урожайность, устойчивость к полеганию и продолжительность вегетационного периода 31 коллекционного образца. Изучение коллекции проводилось в соответствии с Международным классификатором СЭВ рода *Hordeum* L. и Методическими указаниями по изучению мировой коллекции ячменя и овса. Содержание белка определяли с помощью экспресс-анализатора универсального назначения INFRAMATIC 8620.

Результаты и выводы. Установлена высокая корреляционная зависимость содержания белка в зерне от гидротермического коэффициента в межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,85$), суммы эффективных температур за вегетационный период ($r = 0,75$), количества осадков за период «всходы – созревание» ($r = 0,67$). Селекционно ценными признаками (урожайность, устойчивость к полеганию, экологическая пластичность, стабильность) выделялись образцы: к-30574 ('Filippa', Швеция), к-30256 ('Rodas', Польша), я-52 ('Crusades', Великобритания), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-30892 ('Наран', Россия), к-15619 ('Полярный 14', Россия), я-4 (752А, Швейцария), к-30349 (Landrace, Перу), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Makbo', Австралия).

Ключевые слова: урожайность, гидротермический коэффициент, стабильность, пластичность, вегетационный период, устойчивость к полеганию, содержание белка

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0767-2019-0093.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Панихина Л.В., Дягилева Е.В. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):30-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38

Adaptability of high-protein barley genotypes under the conditions of the Volga-Vyatka region

Irina Yu. Zaytseva, Irina N. Shchennikova, Liubov V. Panikhina, Elena V. Dyagileva

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***Corresponding author:** Irina Yu. Zaytseva, irina-zajiceva30@rambler.ru

Background. Barley grain is unique raw material of versatile uses. More than 60% of the grain produced in the Volga-Vyatka region goes directly to fodder production purposes. One of the urgent tasks is to develop high-yielding cultivars with good grain quality, thus reducing protein deficiency in farm animal feeds and meeting the need for fodder grain that increases every year. Its successful solution requires a search for new high-yielding and high-protein source genotypes adapted to the conditions of the Volga-Vyatka region and their involvement in the breeding process.

Materials and methods. Experimental work was carried out in 2018–2020 at the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov. Protein content in grain, yield, resistance to lodging, and duration of the growing season of 31 barley accessions were assessed. The barley collection was studied according to the International COMECON List of Descriptors for the Genus *Hordeum* L. and Methodological Guidelines. Protein content was measured using a universal rapid analyzer (INFRAMATIC 8620).

Results and conclusions. Protein content had a strong correlation with Selyaninov's hydrothermal coefficient in the inter-phase period from ear emergence to maturity ($r = 0.85$); the sum of effective temperatures during the entire growing season ($r = 0.75$); and precipitation in the period from seedling emergence to maturity ($r = 0.67$). Traits of breeding value (yield, lodging resistance, environmental plasticity, and stability) were observed in the following accessions: k-30574 ('Filippa', Sweden), k-30256 ('Rodos', Poland), ya-52 ('Crusades', Great Britain), k-35415 (NCL 95098, Argentina), k-30892 ('Naran', Russia), k-15619 ('Polyarny 14', Russia), ya-4 (752A, Switzerland), k-30349 (Landrace, Peru), k-5983 (Local, Afghanistan), k-3506 (Local, India), k-2929 (Local, China), k-2930 (Local, China), and k-5210 ('Makbo', Australia).

Keywords: yield, hydrothermal coefficient, stability, plasticity, growing season, lodging resistance, correlation

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task, Theme No. 0767-2019-0093.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Panikhina L.V., Dyagileva E.V. Adaptability of high-protein barley genotypes under the conditions of the Volga-Vyatka region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):30-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38

Введение

Зерно ячменя – уникальное сырье многопланового использования; оно применяется в сельском хозяйстве в качестве фуража, в пищевой промышленности для производства круп и пива, а также в текстильной промышленности (Shulepova et al., 2017; Yusova, Nikolayev, 2016).

Большинство сортов, выращиваемых в Волго-Вятском регионе, имеют зернофуражное назначение. На кормовые цели, в основном для приготовления комбикормов, используется более 60% фуражного зерна (Shchenpikova et al., 2018). Это объясняется сочетанием высокой питательной ценности зерна с большим количеством полезных веществ и витаминов, входящих в его состав (Shulepova et al., 2021). Кроме того, зерно ячменя имеет первостепенное значение для насыщения рационов одним из наиболее важных питательных компонентов – растительным белком (Nikolaev et al., 2018; Guo et al., 2019). Зерно ячменя содержит от 8 до 30% белка. Белок синтезируется в эндосперме и алейроновом слое во время развития зерна с максимальным его накоплением на стадии созревания (Yu et al., 2017; Jaeger et al., 2021).

На содержание белка в зерне ячменя влияют как экологические, так и генетические факторы (Hagenblad et al., 2022). Одним из способов решения проблем, связанных с дефицитом белка в кормах для сельскохозяйственных животных, является создание продуктивных сортов с высоким качеством зерна, устойчивых к действию абиотических и биотических стрессоров (Shchenpikova et al., 2018; Zyuba, 2012). Успех создания таких сортов зависит от правильного подбора родительских форм при гибридизации.

Для выявления генотипов, адаптивных к почвенно-климатическим условиям региона, проводят оценку пластичности и стабильности показателей, характеризующих количество и качество получаемой растениеводческой продукции (Kosolapova, Shmorgunov, 2017). Это направление селекции ориентировано на создание сортов, отличающихся повышенной пластичностью, высокой и стабильной урожайностью, а также низкими энерго- и ресурсозатратами. В основных мировых зернопроизводящих странах растениеводство направлено на получение не максимальной, а оптимальной, но стабильной по годам урожайности зерна (Filippov et al., 2018; Sintsova et al., 2018). В связи с этим задача – изучение и выявление нового исходного материала для селекции адаптивных к условиям Волго-Вятского региона сортов ярового ячменя, сочетающих высокую и стабильную урожайность с хорошим качеством зерна, – является особенно актуальной.

Материал и методика

Экспериментальная работа проводилась в 2018–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров). Объектом исследований являлся 31 коллекционный образец ярового ячменя, предоставленный Федеральным исследовательским центром Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (в тексте «к» – каталог ВИР) и другими аграрными научными центрами («я» – каталог ФАНЦ Северо-Востока).

Изучение коллекции проводили в соответствии с Международным классификатором СЭВ (Lekeš et al.,

1983) и Методическими указаниями по изучению мировой коллекции ячменя и овса (Loskutov et al., 2012). Исследования в полевых условиях проводили на делянках площадью 2,7 м² в трехкратной повторности. Полевые опыты были заложены на дерново-подзолистой, средне-суглинистой, сформированной на элювии пермских глин почве с содержанием гумуса 2,27%, pH солевой вытяжки – 5,6. Предшественником был чистый пар. Фоном весной под культивацию вносили минеральные удобрения (нитроаммофоска NPK 16:16:16, АО «ОХК «УРАЛХИМ»). Проведена оценка образцов по продолжительности вегетационного периода и устойчивости к полеганию.

В лабораторных условиях выполнен анализ элементов структуры урожайности и анализ качества зерна (содержание белка) с применением экспресс-анализатора универсального назначения INFRAMATIC 8620 (Pertin Instruments, Sweden). В качестве стандарта использовался сорт ячменя 'Белгородский 100' (st.).

Для оценки уровня влагообеспеченности использовали гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова.

Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований различались как по температурному режиму, так и количеству осадков. В 2018 г. из-за частых дождей и низких температур складывались неблагоприятные условия (ГТК = 1,65), 2019 г. с температурой воздуха в пределах климатической нормы и дефицитом осадков характеризовался как умеренно-влажный (ГТК = 1,37). В 2020 г. вегетация растений началась на 3–17 дней раньше средних многолетних сроков, в течение лета было сухо, с незначительными осадками (ГТК = 1,56) (табл. 1). Таким образом, различающиеся в годы исследований метеорологические условия способствовали разносторонней оценке исходного материала.

Для вычисления параметров экологической пластичности (bi), стабильности (σ^2) и индекса условий окружающей среды (Ij) использовали методику, разработанную S. A. Eberhart, W. A. Russel в редакции В. А. Зыкина с соавторами (Zykin et al., 2011).

Статистическая обработка данных проводилась согласно методике Б. А. Доспехова (Dospikhov, 1985) с использованием компьютерных программ AGROS 2.07 и Microsoft Office.

Результаты и обсуждение

Одним из основных показателей качества зерна ячменя, используемого для приготовления кормов, является содержание белка, которое сильно варьирует в зависимости от сортовых особенностей (генотип) и условий репродукции (климатические факторы, агротехника). При высоких температурах, низкой влажности и богатой азотом почве количество белка увеличивается, а при относительно низких температурах, избыточной влажности и недостатке азотного питания – уменьшается (Mergalimov et al., 2016; Jaeger et al., 2021).

В научных публикациях приведены разнящиеся данные о зависимости содержания белка в зерне от условий тепло- и влагообеспеченности отдельных фаз вегетации и периода развития растений в целом. Так, согласно проведенному исследователями (Yusova et al., 2015) анализу сопряженности основных показателей качества пивоваренного зерна с условиями окружающей среды, повышенное содержание белка в зерне наблюдается в условиях дефицита осадков. Аналогичные выводы сделаны и другими авторами (Glukhovtsev, Drovalova, 2011; Prya-

Таблица 1. Метеорологические показатели, г. Киров**Table 1. Meteorological indicators, Kirov**

Показатель / Indicator	2018	2019	2020
ГТК в межфазный период «колошение – созревание» / Hydrothermal coefficient in the interphase period from ear emergence to maturity	1,66	0,93	2,19
ГТК за весь период вегетации / Hydrothermal coefficient for the entire growing season	1,65	1,37	1,56
Сумма эффективных температур в межфазный период «колошение – созревание», °C / The sum of effective temperatures in the interphase period from ear emergence to maturity, °C	683,5	672,7	772,5
Количество осадков в межфазный период «колошение – созревание», мм / Precipitation in the interphase period from ear emergence to maturity, mm	113,4	62,7	169,0
Сумма эффективных температур за весь период вегетации, °C / The sum of effective temperatures for the entire growing season, °C	1152,4	1210,0	1246,3
Количество осадков за весь период вегетации, мм / Precipitation for the entire growing season, mm	190,1	165,4	194,5

dun, 2013). В то же время в работе Д. В. Дубовика и О. Г. Чуяна (Dubovik, Chuayan, 2018) наименьшее количество белка зафиксировано в слабоувлажненные годы. В исследовании Ю. П. Прыдуна (Pryadun, 2013) выявлена отрицательная корреляционная зависимость между содержанием белка и осадками во все фазы развития ячменя, кроме межфазного периода «колошение – молочная спелость», когда между этими показателями прослеживалась положительная взаимосвязь. По данным Л. М. Ерошенко и др. (Yeroshenko et al., 2020), увеличение ГТК в межфазный период «колошение – налив зерна» приводило к снижению количества белка в зерне ($r = -0,53$), а во время налива и созревания зерна содержание белка в зерне возрастало с повышением гидротермического коэффициента ($r = 0,21-0,66$). Также этими авторами сделан вывод о снижении белка в зерне с ростом ГТК ($r = -0,51...-0,56$) в межфазный период «кущение – колошение».

В результате наших исследований выявлено, что количество белка в зерновке изменялось в зависимости от метеорологических условий года. Так, установлена высокая корреляция содержания белка со следующими показателями: гидротермический коэффициент в межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,85$), сумма

эффективных температур ($r = 0,75$) и количество осадков ($r = 0,67$) за период «всходы – созревание». Наблюдалась очень высокая зависимость количества белка от суммы эффективных температур ($r = 0,99$) и количества осадков ($r = 0,99$) в межфазный период «колошение – созревание».

С помощью регрессионного анализа установлено, что накопление белка в зерне зависит от суммы эффективных температур и количества осадков за весь вегетационный период на 56,7% ($R^2 = 0,567$) и 44,3% ($R^2 = 0,443$) соответственно, а от суммы эффективных температур и количества осадков в межфазный период «колошение – созревание» – на 99,9% ($R^2 = 0,999$) и 82,4% ($R^2 = 0,824$) соответственно.

Содержание белка в зерне изменялось по годам от 13,1 до 14,5% (CV = 5,9%), по сортам от 10,5 до 17,4% (CV = 11,5%). Так, в 2018 г. при индексе условий окружающей среды (Ij), равном 0,37, диапазон изменчивости белка по сортам составлял от 10,5 до 16,8% (CV = 12,7%), в 2019 г. (Ij = -0,56) – от 10,9 до 15,9% (CV = 10,7%). Наиболее благоприятные условия накопления белка в зерне сложились в 2020 г. (Ij = 0,93), когда его содержание варьировало у образцов от 12,6 до 17,4% (CV = 8,3%), при среднем значении $14,5 \pm 0,2\%$ (рисунок).

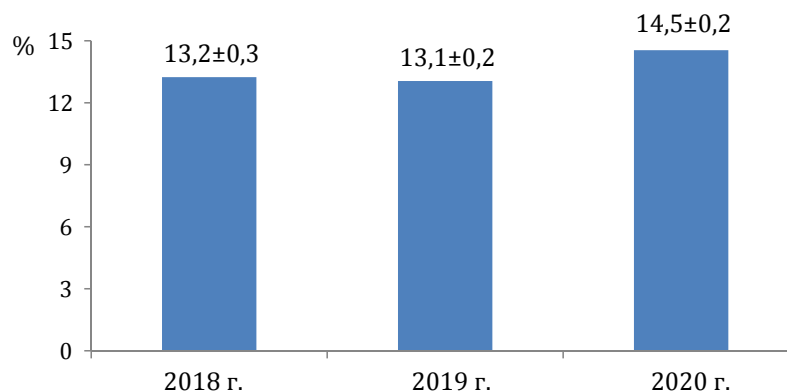


Рисунок. Средние значения содержания белка в зерне коллекционных образцов ячменя (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2018–2020 гг.)

Figure. Mean values of protein content in the grain of barley accessions (Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, 2018–2020)

За период исследований наибольшее содержание белка во все годы изучения отмечалось у генотипов к-30349 (Landrace, Перу), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай) и к-5210 ('Макбо', Австралия). Достоверно превысили стандарт по содержанию белка в зерне образцы я-52 ('Crusades', Великобритания), я-4 (752A, Швейцария), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-30349 (Landrace, Перу), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия), к-30256 ('Rodod', Польша), к-15619 ('Полярный 14', Россия) и к-30892 ('Наран', Россия) (табл. 2).

Подбор исходного материала для селекции в условиях Волго-Вятского региона необходимо осуществлять не ограничиваясь количественной оценкой содержания белка в зерне, но и принимая во внимание приспособленность генотипа к условиям конкретного региона возделывания. Только высокая адаптивность высокобелковых сортов может обеспечить стабильно высокое содержание белка в зерне при неблагоприятных метеорологических условиях.

Селекционную ценность представляют образцы интенсивного типа, которые имеют показатель экологической пластичности (b_i) значительно выше единицы и хорошо отзываются на улучшение условий выращивания.

Таблица 2. Содержание белка, показатели экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов ячменя (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2018–2020 гг.)

Table 2. Protein content, and indicators of environmental plasticity and stability in barley accessions (Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, 2018–2020)

Номер каталога / Catalogue No.	Образец / Accession	Содержание белка, % Protein content, %				b_i	σd^2
		2018	2019	2020	ср. / Mean		
я-201*	Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, ref.	11,9	10,9	13,9	12,2	1,89	0,195
к-30806**	Новичок / Novichek	11,2	12,8	14,7	12,9	1,83	1,177
я-207	Бионик / Bionic	12,9	12,8	13,5	13,1	0,48	0,001
я-52	Crusades	13,6	14,6	15,9	14,7	1,17	0,719
к-30375	Cooper	11,8	12,5	16,7	13,7	3,16	0,938
к-19798	Sultan	11,9	12,8	13,1	12,6	0,45	0,496
к-30873	Mentor	13,5	12,7	13,7	13,3	0,46	0,249
к-30468	Orthega	12,3	12,3	12,6	12,4	0,22	0,006
к-30888	Danuta	13,0	12,0	14,1	13,0	1,24	0,305
я-4	752 A	15,4	13,5	14,6	14,5	0,25	1,796
к-30574	Filippa	13,6	12,9	15,5	14,0	1,61	0,075
к-21957	Bonita	12,8	11,3	14,2	12,8	1,61	0,712
к-35425	NCL 95098	13,9	14,6	14,4	14,3	0,01	0,235
к-30349	Landrace	15,4	14,6	16,8	15,6	1,35	0,125
к-31053	Нахбу	11,6	11,8	14,6	12,7	2,00	0,149
к-5983	Местный / Local	14,9	14,9	14,0	14,6	-0,65	0,006
к-3506	Местный / Local	15,7	14,6	14,2	14,8	-0,62	0,733
к-2929	Местный / Local	15,8	14,7	14,2	16,0	1,60	0,298
к-2930	Местный / Local	16,8	15,9	15,9	16,2	-0,24	0,465
к-5210	Макбо	16,4	15,8	15,3	15,8	-0,54	0,321
к-29010	Одесский 115 / Odessky 115	11,7	12,3	13,8	12,6	1,18	0,377
к-30379	Mie	11,9	12,1	13,3	12,4	0,92	0,078
к-29917	Сябра / Syabra	12,3	11,5	14,9	12,9	2,17	0,075

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Номер каталога / Catalogue No.	Образец / Accession	Содержание белка, % Protein content, %				bi	σd ²
		2018	2019	2020	ср. / Mean		
к-30256	Rodos	13,1	12,1	15,9	13,7	2,43	0,139
к-15619	Полярный 14 / Polyarny 14	13,9	14,9	15,8	14,9	0,96	0,704
к-30892	Наран / Naran	13,9	13,4	13,9	13,7	0,24	0,114
к-30926	Казьминский / Kazminsky	13,8	13,0	14,1	13,6	0,59	0,218
к-31046	Щедрый / Shchedry	12,5	11,8	13,2	12,5	0,80	0,109
я-181	Адам / Adam	10,9	12,5	12,8	12,1	0,64	1,545
я-270	Куфаль / Kufal	11,6	11,7	13,9	12,4	1,58	0,062
я-356	Рейдер / Reyder	10,5	11,2	14,1	12,0	2,25	0,649
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		–	–	–	1,5	–	–

Примечание * – номер каталога ФАНЦ Северо-Востока; ** – номер по каталогу ВИР; st. – сорт-стандарт

Note: * – FARC North-East Catalogue No.; ** – VIR Catalogue No.; ref. – reference cultivar

Увеличением содержания белка в зерне при благоприятных для роста и развития растений ячменя условиях характеризовались образцы я-201 ('Белгородский 100', Россия), к-30806 ('Новичок', Россия), я-52 ('Crusades', Великобритания), к-30375 ('Cooper', Великобритания), к-30889 ('Danuta', Германия), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-21957 ('Bonita', Аргентина), к-30349 (Landrace, Перу), к-31053 ('Naxby', США), к-2929 (Местный, Китай), к-29010 ('Одесский 115', Украина), к-29917 ('Сябра', Белоруссия), к-30256 ('Rodos', Польша), я-356 ('Рейдер', Белоруссия), я-270 ('Куфаль', Белоруссия). Максимальное в опыте содержание белка в зерне ячменя сформировалось в благоприятном 2020 г.: так, у образца к-2929 (Местный, Китай) оно достигало 17,4%, к-30349 (Landrace, Перу) – 16,8%, я-52 ('Crusades', Великобритания), к-30256 ('Rodos', Польша) – 15,9%, к-30574 ('Filippa', Швеция) – 15,5%.

Образцы, коэффициент регрессии (b_i) у которых значительно ниже единицы (близкий к нулю), относятся к нейтральному типу. Они слабо отзываются на изменение условий среды: незначительно снижают содержание белка в экстремальных условиях и слабо реагируют на интенсификацию земледелия. Практически не изменялось содержание белка в зерне во все годы изучения у образцов я-207 ('Бионик', Россия), к-19789 ('Sultan', Нидерланды), к-30873 ('Mentor', Дания), к-30468 ('Ortega', Германия), я-4 (752А, Швейцария), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия), к-30892 ('Наран', Россия), к-30926 ('Казьминский', Россия), я-181 ('Адам', Белоруссия). Стабильно высоким содержанием белка в зерне по годам отличались образцы к-5983 (Местный, Афганистан) – 14,9; 14,9 и 14,0% и к-30892 ('Наран', Россия) – 13,5; 13,4 и 13,9% соответственно.

При коэффициенте пластичности, равном или близком к единице (b_i = 1) (высокая экологическая пластичность), изменение показателей у сорта соответствует

изменению условий среды. К этому типу (b_i = 1) относились образцы к-15619 ('Полярный 14', Россия), к-30379 ('Mie', Эстония), к-31046 ('Щедрый', Россия). Высоким содержанием белка отличался к-15619 ('Полярный 14', Россия).

Стабильно высоким содержанием белка в зерне (σd² → 0) в условиях Волго-Вятского региона характеризовались образцы к-30574 ('Filippa', Швеция) и к-5983 (Местный, Афганистан).

Большое значение для выбора исходного материала для дальнейшей селекционной работы имеет оценка коллекционных образцов по таким признакам, как урожайность, продолжительность вегетационного периода и устойчивость к полеганию. У высокобелковых генотипов отмечалось значительное варьирование (CV = 23,7%) урожайности – от 255 до 465 г/м². Высокой урожайностью на уровне стандарта характеризовались образцы к-30574 ('Filippa', Швеция) и к-30256 ('Rodos', Польша) (табл. 3).

По продолжительности вегетационного периода коллекционные образцы различались незначительно (CV = 2,1%), в среднем за годы оценки продолжительность межфазного периода «всходы – созревание» составляла от 72 до 77 дней. Все высокобелковые образцы были отнесены к группе среднеспелых.

Устойчивость к полеганию у генотипов с высоким содержанием белка в зерне варьировала от 5,1 до 9,0 баллов (CV = 22,2%). Устойчивостью выше 8,5 баллов обладали образцы я-52 (Crusades, Великобритания), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-30256 ('Rodos', Польша) и к-30892 ('Наран', Россия).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что в условиях Волго-Вятского региона содержание белка в зерне зависит от гидротермического коэффици-

Таблица 3. Характеристика высокобелковых коллекционных образцов ячменя
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2018–2020 гг.)

Table 3. Characteristics of high-protein barley accessions
(Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, 2018–2020)

Номер каталога / Catalogue No.	Образец / Accession	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	Продолжительность вегетационного периода, дни / Duration of the growing season, days	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, points
я-201*	Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, ref.	463	74	8,9
я-52	Crusades	343	77	8,5
я-4	752 A	276	73	5,6
к-30574**	Filippa	431	76	8,9
к-35425	NCL 95098	375	75	9,0
к-30349	Landrace	227	73	5,8
к-5983	Местный / Local	296	73	5,8
к-3506	Местный / Local	276	75	5,9
к-2929	Местный / Local	280	73	5,7
к-2930	Местный / Local	283	73	5,3
к-5210	Makbo	255	72	5,1
к-30256	Rodos	465	76	8,4
к-15619	Полярный 14 / Polyarny 14	314	73	7,5
к-30892	Наран / Naran	407	73	8,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		42	3	–

Примечание * – номер каталога ФАНЦ Северо-Востока; ** – номер по каталогу ВИР; st. – сорт-стандарт

Note: * – FARC North-East Catalogue No.; ** – VIR Catalogue No.; ref. – reference cultivar

ента в межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,85$), суммы эффективных температур ($r = 0,75$) и количества осадков ($r = 0,67$) за период «всходы – созревание».

Для дальнейшей селекционной работы выделены источники, характеризующиеся повышенной пластичностью и стабильно высоким содержанием белка в зерне. Образцы я-52 ('Crusades', Великобритания), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-30349 (Landrace, Перу), к-2929 (Местный, Китай) и к-30256 ('Rodos', Польша) рекомендуются использовать для селекции сортов, которые будут возделываться по интенсивным технологиям; образцы я-4 (752A, Швейцария), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия) и к-30892 ('Наран', Россия) – по экстенсивным технологиям. Высокобелковые генотипы я-4 (752A, Швейцария), к-30349 (Landrace, Перу), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия) и к-15619 ('Полярный 14', Россия) необходимо скрещивать с более продуктивными и устойчивыми к полеганию образцами.

References / Литература

- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Dubovik D.V., Chuyan O.G. Quality of crops depending on agronomical practices and climatic conditions. *Zemledelie = Crop Farming*. 2018;(2):9-13. [in Russian] (Дубовик Д.В., Чуян О.Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий. *Земледелие*. 2018;(2):9-13). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10202
- Filippov E.G., Dontsova A.A., Bragin R.N. The assessment of ecological plasticity and stability of winter barley varieties and lines. *Grain Economy of Russia*. 2018;2(56):11-13. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Брагин Р.Н. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов и линий озимого ячменя. *Зерновое хозяйство России*. 2018;2(56):11-13).
- Glukhovtsev V.V., Drovaleva N.V. Features of formation protein and its amino acid composition in summer barley grains depending on weather conditions in the Mid-

- dle Volga region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2011;6(2):120-123. [in Russian] (Глуховцев В.В., Дровальева Н.В. Особенности формирования белка и его аминокислотного состава в зерне ярового ячменя в зависимости от погодных условий в Среднем Поволжье. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2011;6(2):120-123).
- Guo B, Li D., Lin S., Li Y., Wang S., Lv C., et al. Regulation of nitrogen availability results in changes in grain protein content and grain storage subproteomes in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plos One*. 2019;14(10):0223831. DOI: 10.1371/journal.pone.0223831
- Hagenblad J., Vanhala T., Madhavan S., Leino M.W. Protein content and HvNAM alleles in Nordic barley (*Hordeum vulgare*) during a century of breeding. *Hereditas*. 2022;159(1):12. DOI: 10.1186/s41065-022-00227-y.
- Jaeger A., Zannini E., Sahin A.W., Arendt E.K. Barley protein properties, extraction and applications, with a focus on brewers' spent grain protein. *Foods*. 2021;10(6):1389. DOI: 10.3390/foods10061389
- Kosolapova T.V., Shmorgunov G.T. Ecological plasticity and stability of winter rye productivity in the Republic of Komi. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;4(59):9-12. [in Russian] (Косолапова Т.В., Шморгунов Г.Т. Экологическая пластичность и стабильность озимой ржи в условиях Республики Коми. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;4(59):9-12). DOI: 10.30766/2072-9081.2017.59.4.09-13
- Lekeš J., Bareš I., Foral A., Odignal V., Ružička F., Bobek M., Trofimovskaya A., Lukyanova M., Korneychuk V., Ilyina N., Yarosh N. International COMECON list of descriptors for the genus *Hordeum* L. (subgen. *Hordeum*). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian] (Лекеш Я., Бареш И., Форал А., Одиignal И., Ружичка Ф., Бобек М., Трофимовская А., Лукьянова М., Корнейчук В., Ильина Н., Ярош Н. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum*. Ленинград: ВИР; 1983).
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Mergalimov D.B., Bekenova L.V., Shamanin V.P. Group yield and quality of barley in the North-Eastern Kazakhstan. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2016;1(38):28-36. [in Russian] (Мергалимов Д.Б., Бекенова Л.В., Шаманин В.П. Урожайность и качество сортов и линий ячменя в условиях Северо-Востока Казахстана. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2016;1(38):28-36).
- Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A. Plasticity, stability and adaptability of grain quality of spring barley varieties in the conditions of Omsk region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;1(41):43-48. [in Russian] (Николаев П.Н., Анисков Н.И., Юсова О.А. Пластичность, стабильность и адаптивность качества зерна сортов ярового ячменя в условиях Омской области. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;1(41):43-48). DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-43-48
- Pryadun U.P. Formation of protein in grain of collection samples spring barley under northern forest-steppe Chelyabinsk region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;171:69-72. [in Russian] (Прядун Ю.П. Формирование белка в зерне коллекционных образцов ярового ячменя в условиях северной лесостепи Челябинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;171:69-72).
- Shchennikova I.N., Kokina L.P., Zaytseva I.Yu. Ecological stability of varieties and breeding lines of spring barley. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2018;4(3):85-91. [in Russian] (Щенникова И.Н., Кокина Л.П., Зайцева И.Ю. Экологическая устойчивость сортов и селекционных линий ярового ячменя. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2018;4(3):85-91). DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-3-85-90
- Shulepova O.V., Belkina R.I. Grain quality of barley varieties in the conditions of Northern Trans-Urals. *The Bulletin of KrasGAU*. 2017;10(133):9-14. [in Russian] (Шулепова О.В., Белкина Р.И. Качество зерна сортов ячменя в условиях Северного Зауралья. *Вестник КрасГАУ*. 2017;10(133):9-14).
- Shulepova O.V., Sannikova N.V., Kovaleva O.V. Evaluation of the biochemical composition of seeds of different varieties of spring barley depending on pre-treatment in the conditions of forest-steppe zone of Zauralye. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;1(64):63-69. [in Russian] (Шулепова О.В., Санникова Н.В., Ковалева О.В. Оценка биохимического состава зерна различных сортов ярового ячменя в зависимости от предпосевной обработки в условиях лесостепной зоны Зауралья. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2021;1(64):63-69).
- Sintsova N.F., Sergeeva Z.F., Bashlakova O.N. Plasticity and stability of potato varieties bred by Falenki breeding station. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):54-58. [in Russian] (Синцова Н.Ф., Сергеева З.Ф., Башлакова О.Н. Пластичность и стабильность сортов картофеля селекции Фалёнской селекционной станции. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;65(4):54-58). DOI: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.54-58
- Yeroshenko L.M., Dedushev I.A., Romakhin M.M., Yeroshenko A.N., Yeroshenko N.A. Romakhina V.V. The influence of the hydrothermal coefficient on groats qualities of barley varieties under the conditions of the Non-Chernozem Zone. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020;2(184):26-32. [in Russian] (Ерошенко Л.М., Дедушев И.А., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А. Ромахина В.В. Влияние гидротермического коэффициента на крупяные качества сортов ячменя в условиях Нечерноземной зоны. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020;2(184):26-32).
- Yu W., Tan X., Zou W., Hu Z., Fox G.P., Gidley M.J. et al. Relationships between protein content, starch molecular structure and grain size in barley. *Carbohydrate Polymers*. 2017;155:271-279. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.08.078
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Popoluzukhin P.V. Formation of grain quality of brewing barley varieties depending on growing season conditions. *Zemledelie = Crop Farming*. 2015;(5):44-46. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Поползухин П.В. Формирование качества зерна пивоваренных сортов ячменя в зависимости от условий периода вегетации. *Земледелие*. 2015;(5):44-46).
- Yusova O.A., Nikolayev P.N. Productivity and grain quality of barley under conditions of the southern forest steppe in Western Siberia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2016;6(263):13-22. [in Russian] (Юсова О.А., Нико-

лаев П.Н. Урожайность и качество зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2016;6(263):13-22).

Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshiev I.O. Environmental plasticity of agricultural plants (methods and assessment) (Ekologicheskaya plastichnost selskokhozyaystvennykh rasteniy [metodika i otsenka]). Ufa; 2011. [in

Russian] (Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа; 2011). Zyuba S.N. Growing conditions and fodder productivity of spring barley. *Zemledelie = Crop Farming*. 2012;(4):47-48. [in Russian] (Зюба С.Н. Условия выращивания и кормовая продуктивность ярового ячменя. *Земледелие*. 2012;(4):47-48).

Информация об авторах

Ирина Юрьевна Зайцева, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, irina-zajceva30@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Ирина Николаевна Щенникова, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, заведующая лабораторией, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, i.schennikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Любовь Владимировна Панихина, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, miss.lovemama@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Елена Васильевна Дягилева, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, lens_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2870-2269>

Information about the authors

Irina Yu. Zaytseva, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, irina-zajceva30@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Irina N. Shchennikova, Dr. Sci. (Agriculture), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of a Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, i.schennikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Liubov V. Panikhina, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina st., Kirov 610007, Russia, miss.lovemama@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Elena V. Dyagileva, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, lens_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2870-2269>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.03.2022; одобрена после рецензирования 29.04.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 22.03.2022; approved after reviewing on 29.04.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата

А. И. Кинчаров, Е. А. Дёмина, М. Н. Кинчарова, Т. Ю. Таранова, О. С. Муллаянова, К. Ю. Чекмасова

*Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова –
филиал СамНЦ РАН, Самарская область, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Кинчаров, kincharov_ai@mail.ru

Актуальность. Несмотря на достижения селекции в создании сортов с высокой потенциальной продуктивностью и устойчивостью к наиболее распространенным в регионах стрессовым факторам, предусмотреть и точно предсказать реакцию сортов в производственных условиях практически невозможно. К тому же в условиях глобального потепления климата все чаще будут проявляться экстремальные погодные явления, включая волны жары, засух и ливней. Для уменьшения риска существенного снижения валовых сборов зерна в засушливые годы и достижения высоких показателей в благоприятных условиях поставлена цель работы – разработать комплексный показатель оценки агроэкологической адаптированности генотипа к некоторым последствиям глобального потепления климата.

Материалы и методы. Используя результаты конкурсного испытания пяти сортов и девяти перспективных линий пшеницы яровой по урожайности за шесть контрастных по влагообеспеченности лет – методом расчета показателей отзывчивости на благоприятные условия, депрессии урожайности зерна в неблагоприятных условиях и относительного индекса урожайности – предложен комплексный показатель для оценки агроэкологической адаптированности генотипа к контрастным условиям среды.

Результаты. Предложенный метод позволяет получить комплексную оценку, учитывающую отзывчивость образца на улучшение агроклиматических условий и степень его реакции на неблагоприятные факторы среды с учетом индекса урожайности в изучаемом наборе. Метод рекомендуется для оценки исходного материала и выявления разнообразия откликов образцов на изменения агроклиматических условий и для этапа конкурсного сортоиспытания в селекции на адаптивность.

Ключевые слова: пшеница, сорт, селекция, методика, отзывчивость, засухоустойчивость, урожайность

Благодарности: научные исследования проводились в том числе в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № 0192-2019-0032 «На основании изучения генофонда и синтеза новых генисточников с комплексом ценных признаков усовершенствовать технологию селекционного процесса с целью создания адаптивных сортов яровой и озимой пшеницы, сочетающих высокую продуктивность и качество зерна с повышенной устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам Среднего Поволжья».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Кинчарова М.Н., Таранова Т.Ю., Муллаянова О.С., Чекмасова К.Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):39-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47

Methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes under global climate warming

Aleksandr I. Kincharov, Elena A. Demina, Marina N. Kincharova, Tatyana Yu. Taranova, Olga S. Mullayanova, Kristina Yu. Chekmasova

Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, Samara Province, Russia

Corresponding author: Aleksandr I. Kincharov, kincharov_ai@mail.ru

Background. The relevance of the research is due to the fact that, despite the breeding achievements in releasing cultivars with high potential yield and resistance to the most common stressors in the regions, it is almost impossible to foresee and accurately predict the reaction of cultivars under production conditions. Besides, extreme weather events, including heat waves, droughts and downpours, will increasingly manifest themselves under global climate warming. To reduce the risk of a significant decrease in gross grain harvests in dry years and achieve high results under favorable conditions, the goal was to develop a comprehensive indicator for assessing the agroecological adaptability of genotypes to some consequences of global climate warming.

Materials and methods. The results of a competitive test of 5 cultivars and 9 promising lines of spring wheat for their yield across six years contrasting in moisture availability by calculating the indicators of responsiveness to favorable conditions, grain yield depression under unfavorable conditions and the relative yield index were used to develop a complex indicator proposed to assess the agroecological adaptability of a genotype to contrasting environmental conditions.

Results. The proposed method makes it possible to perform a comprehensive assessment that takes into account the responsiveness of an accession to improved agroclimatic conditions and the degree of its reaction to adverse environmental factors, taking into account the yield index in the studied set. The method is recommended for evaluating the source material and identifying the diversity of its responses to changes in agroclimatic conditions as well as for the stage of competitive variety testing in plant breeding for adaptability.

Keywords: wheat, cultivar, breeding, methodology, responsiveness, drought resistance, yield

Acknowledgements: the research was carried out, *inter alia*, within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on Theme No. 0192-2019-0032 "On the basis of studying the gene pool and synthesizing new genetic sources with a set of valuable traits to improve the technology of the breeding process in order to develop adaptable cultivars of spring and winter wheat, combining high productivity and grain quality with increased resistance to biotic and abiotic stresses in the Middle Volga region".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Kincharov A.I., Demina E.A., Kincharova M.N., Taranova T.Yu., Mullayanova O.S., Chekmasova K.Yu. Methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes under global climate warming. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):39-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47

Введение

Сохраняющиеся тенденции существенного увеличения до 2050 г. численности населения земного шара (Vollset et al., 2020) и глобальное потепление климата, приводящее к увеличению частоты экстремальных погодных явлений, включая волны жары, засухи и ливни (Battisti, Naylor, 2009), ставят перед научным сообществом всех стран вопросы стабильного повышения производства сельскохозяйственной продукции. Как отмечают J. Hansen et al. (2012), частота проявлений чрезвычайно жаркой погоды по сравнению с десятилетиями до 1980 г. увеличилась приблизительно в 50 раз. Сорок лет назад чрезвычайная летняя жара, как правило, затрагивала 0,1–0,2% поверхности земного шара, сегодня – около 10% (Hansen et al., 2012). За последние 20 лет климатической изменчивостью объясняется 31–51% вариабельности урожайности пшеницы в Западной Европе, 23–66% – в Восточной Европе и бывших советских республиках, таких как Российская Федерация, Украина, Казахстан, тогда как в южной Европе климатическая изменчивость ответственна за 15–45% вариабельности урожайности в Италии и Греции, и более 75% – на юге Испании (Ray et al., 2015). Учитывая данные факты и то, что в мире и в России большая часть посевных площадей находится в зонах, неблагоприятных для возделывания той или иной культуры, в частности в зонах рискованного засушливого земледелия, зависимость отрасли от погодноклиматических условий останется очень высокой, и в последующие десятилетия эта зависимость, скорее всего, будет только возрастать и станет более непредсказуемой.

Задача мировой аграрной науки – максимально снизить зависимость отрасли от погодных флуктуаций, существенно выходящих за пределы среднесезонных наблюдений. Европейскими исследованиями отмечается, что тепловой стресс, а не чувствительность к засухе, является ограничивающим фактором для адаптации пшеницы к изменению климата в Европе (Semenov, Shewry, 2011). В условиях же части Восточной Европы и Азии, в частности различных регионов России, где в некоторые летние месяцы гидротермический коэффициент составляет менее 0,1, чувствительность к засухе и засухе является не менее важным фактором, чем чувствительность к тепловому стрессу (Kincharov et al., 2020). Поэтому одним из важнейших направлений в решении данной задачи, несомненно, является создание адаптированных к меняющимся факторам среды культурных растений, для которых характерна агроэкологическая адаптированность, связанная с большей приспособленностью новых сортов и гибридов к местным условиям и технологиям возделывания (Rybas', 2016). При этом уже на этапе подбора родительских форм для скрещиваний надо учитывать, что не любое разнообразие сортов является эффективным, а лишь разнообразие в ответах на критические погодные явления может повысить устойчивость к изменению климата (Kahiluoto et al., 2014), и такое разнообразие в ответах дает практические средства для повышения устойчивости и адаптации к изменению климата не только сортов, но и сельскохозяйственных культур (Mäkinen et al., 2015).

Главная отличительная особенность адаптированных сортов – сочетание высокой потенциальной продуктивности с устойчивостью к наиболее распространенным в регионе абиотическим и биотическим стрессорам (Popolzhukhina et al., 2020), а также доминирование гено-

типа над нерегулируемыми факторами внешней среды (Zhuchenko, 2004). Однако, несмотря на достижения селекции, предусмотреть и точно предсказать реакцию нового сорта в производственных условиях на комплексное воздействие неблагоприятных факторов среды практически невозможно. Наука предлагает в помощь различные методы оценки сортов по экологической пластичности (Eberhart, Russell, 1966; Martynov, 1989; Valekzhnin, Korobeinikov, 2011), адаптивности и стабильности (Khangildin, Biryukov, 1984; Kilchevsky, Khotyleva, 1989; Zhivotkov et al., 1994; Zharkova, 2019). Большей частью методы схожи, так как основаны на одних принципах начальных расчетов, но в дальнейшем, конечно, имеют свои особенности и ряд специфически рассчитанных показателей, характеризующих ценность материала в различных аспектах. Также многие исследователи сходятся во мнении, что для получения более полной информации необходимо применять несколько методов и для сравнения пользоваться принципом ранжирования сортов (Malchikov, Vyushkov, 2003).

Цель данной работы – разработать комплексный показатель, характеризующий максимальную агроэкологическую адаптированность генотипов к меняющимся условиям. Это особо актуально сегодня для многих европейских и азиатских стран в свете участвующих в последние годы проявлениях засух и тренда по глобальному потеплению климата.

При создании новых сортов селекционеры стремятся к получению идеальных форм, которые в любых условиях давали бы максимальный урожай зерна. Однако на данном этапе селекции это неосуществимо, и можно только максимально стремиться к тому, чтобы высокопродуктивные формы имели минимальную реакцию на ухудшение агроклиматических условий и максимальную отзывчивость на улучшение агротехники и складывающиеся благоприятные погодные условия. Чтобы оценить исходный материал и создаваемые сорта по комплексу этих показателей, нужен определенный алгоритм, суммарно учитывающий многие положительные и отрицательные факторы. Такая разработка необходима селекционным центрам для объективной оценки генофонда культурных растений в конкретных условиях, подбора исходного материала по разнообразию откликов и отбора сортов в селекционном процессе на этапе конкурсного испытания.

Материалы и методы

Для разработки комплексного показателя использованы данные шести лет (2015–2020 гг.) конкурсного испытания сортов пшеницы мягкой яровой на полях Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства имени П.Н. Константинова (Поволжский НИИСС, Самарская область, Российская Федерация), которые закладывались по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Methodology..., 1989). Набор изучаемого материала включает пять сортов, зарегистрированных в Государственном реестре, и девять перспективных для передачи в государственное испытание линий. Условия лет изучения образцов были крайне разнообразными и характеризовались следующим образом: 2015, 2016 и 2019 г. – неблагоприятные погодные условия для культуры с засушливыми и остро засушливыми проявлениями в течение вегетационного периода, 2017 г. – благоприятный (220 мм осадков за вегетацию

яровой пшеницы при среднемноголетнем значении – 163 мм), 2018 г. – средний, в котором засушливые явления проявились от посева до начала налива зерна на фоне средних и пониженных температур воздуха, и 2020 г. – засушливые условия и высокий температурный фон в фазу налива зерна. Природно-климатическое местоположение опытного участка характерно для земледельческой площади более пяти миллионов гектаров, охватывающее части Самарской, Оренбургской областей и Республики Татарстан, характеризуется как зона рискованного земледелия, где засушливые годы чередуются с остро засушливыми и умеренно влажными, и это оказывает существенное влияние на объемы валовых сборов зерна по годам.

В работе использованы методы определения следующих показателей: индекса сорта (генотипа), вычисляемого как разность средней урожайности сорта и средней урожайности по опыту (всех сортов во всех средах); отзывчивости сорта (генотипа) на благоприятные условия – разность между максимальной урожайностью сорта и его средним значением, а также депрессии урожайности сорта (генотипа) на неблагоприятные условия, рассчитанной как разность между минимальным и максимальным значением по сорту.

Результаты и обсуждение

В данной работе оценку агроэкологической адаптивности генотипов к условиям среды проводим по данным конкурсного испытания лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы Поволжского НИИСС – филиала Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (СамНИЦ РАН). Аналогичную оценку можно провести по результатам трехлетней оценки коллекционного материала или оценки в течение одного года в трех экологических точках.

Для исследований необходимо проанализировать показатели урожайности определенного набора генотипов (сортов, линий) в трех и более контрастных условиях (годах), проявляющихся в регионе. Достоверность экспериментальных данных в условиях каждого года (экологической точки) необходимо подтверждать статистической обработкой (Dospikhov, 1985), выполненной соответствующим программным обеспечением, в том числе это возможно и с использованием общедоступной программы «Анализ данных» в Microsoft Office Excel. Наиболее удобным вариантом при этом является инструмент анализа «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений», который позволяет получить статистические данные как по строке (сорта), так и по столбцам (повторности). В таблице статистических данных получаем фактические значения F фактическое и F критическое по источнику вариации строки (сорта) и столбца (повторности). В нашем случае по первому году испытаний получены следующие данные по источникам вариации: Строки (сорта) $F = 6,25$, а F критическое $= 1,98$; Столбцы (повторности) $F = 150,43$, а F критическое $= 2,85$. Если F фактическое больше F теоретического, нулевая гипотеза отвергается и можно рассчитать наименьшую существенную разницу (НСР) между сортами, а далее использовать данные по соответствующему году (экологической точке) для оценки агроэкологической адаптивности сортов. Если F фактическое меньше F теоретического ($F < F$ критическое), нулевая гипотеза принимается ($H_0 = 0$) и данные по экологической точке не могут быть использованы в дальнейших расчетах.

После этого необходимо подготовить сводную таблицу экспериментальных данных, где будут представлены показатели урожайности зерна по сортам и годам (экологическим точкам). В нашем случае это данные урожайности зерна пшеницы мягкой яровой конкурсного испытания пяти сортов и девяти перспективных линий за шесть лет (табл. 1).

По имеющимся данным рассчитываем среднюю урожайность каждого сорта за годы исследований (X_i). Определяется как отношение суммы урожайности за годы испытания к количеству лет испытания:

$$X_i = \frac{\sum X_{ij}}{m}, \quad (1)$$

где: X_i – средняя урожайность сорта за годы испытания; $\sum X_{ij}$ – сумма урожайности i -го сорта по годам; m – количество лет испытания.

В данном случае средняя урожайность сорта 'Кинельская 59' равна:

$$X_i = (1,76 + 1,99 + 3,03 + 2,27 + 1,78 + 3,28) / 6 = 2,35.$$

Аналогично рассчитываем среднюю урожайность по другим сортам.

Огромное значение для выполнения дальнейших аналитических расчетов имеет показатель средней урожайности по опыту (X), которая определяется как отношение суммы урожайности зерна всех сортов за все годы испытания к произведению количества сортов и лет испытания:

$$X = \frac{\sum_i \sum_j X_{ij}}{m * n}, \quad (2)$$

где: X – средняя урожайность сортов по опыту за годы испытания; $\sum_i \sum_j X_{ij}$ – сумма урожайности по сортам и по годам; m – количество лет испытания; n – количество сортов в испытании.

Средняя урожайность по опыту в нашем случае равна: $X = (1,76 + 1,99 + 3,03 + \dots + 3,10 + 2,25 + 3,40) / 6 * 14 = 147,69 / 84 = 2,75$.

Наиболее важным и ценным показателем для разработки метода оценки агроэкологической адаптивности генотипов является индекс урожайности сорта (I_i), рассчитываемый аналогично индексу условий среды по S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) или как общая адаптивная способность сорта (OAC_i) по А. В. Кильчевскому и Л. В. Хотылевой (Kilchevsky, Khotyleva, 1989), определяемая как разность средней урожайности по сорту и средней урожайности по опыту (выражено в тех же единицах, что и урожайность):

$$I_i = X_i - X, \quad (3)$$

где: I_i – индекс урожайности сорта; X_i – средняя урожайность i -го сорта; X – средняя урожайность по опыту.

В нашем случае индекс урожайности сорта 'Кинельская 59' в исследованиях будет равен: $I_i = 2,35 - 2,75 = -0,40$ т/га (показатель имеет как отрицательные, так и положительные значения). Для контроля суммарное значение индексов урожайности всех сортов по опыту должно равняться нулю. Аналогично определяется и индекс условий года (I_j) – разность средней урожайности сортов за год и средней урожайности по опыту. Данный показатель необходим для анализа условий года и оценки реакции сортов на них.

В работе предлагаем ввести понятие и рассчитать один из базовых для дальнейших расчетов показатель – относительное значение индекса урожайности сорта ($I_{i\%}$), определяемое как отношение разности средней уро-

Таблица 1. Урожайность зерна образцов конкурсного испытания пшеницы мягкой яровой за 2015–2020 гг.**Table 1. Grain yield of cultivars in the competitive testing of spring bread wheat across 2015–2020**

Сорт, линия / Cultivar, line	Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha							Индекс урожайности сорта / Cultivar's yield index (I _p), t/ha
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Средняя / Mean (X _p)	
Кинельская 59	1,76	1,99	3,03	2,27	1,78	3,28	2,35	–0,40
Кинельская отрада	1,99	1,87	3,13	2,48	1,82	3,39	2,44	–0,31
Кинельская нива	2,11	2,10	3,65	2,80	2,01	3,33	2,66	–0,09
Кинельская 2010	2,08	2,09	3,65	2,95	1,93	3,56	2,71	–0,04
Кинельская юбилейная	2,18	2,20	4,10	2,83	2,24	3,57	2,85	0,10
Erythrospermum 4144	2,12	2,08	4,01	2,91	2,05	3,51	2,78	0,03
Erythrospermum 4146	2,25	2,19	3,75	2,95	2,04	3,61	2,80	0,05
Lutescens 6102	2,30	2,39	4,08	3,22	2,31	3,43	2,95	0,20
Erythrospermum 6310	2,43	2,46	3,68	3,15	2,39	3,73	2,97	0,22
Erythrospermum 6381	2,27	2,34	3,60	2,84	2,10	3,33	2,74	–0,01
Erythrospermum 6517	2,18	2,41	3,82	2,96	2,24	3,59	2,86	0,11
Erythrospermum 6019	2,37	2,08	3,58	3,03	1,91	2,91	2,65	–0,10
Lutescens 6029	2,64	2,28	4,06	3,15	2,11	2,82	2,84	0,09
Lutescens 6045	2,34	2,25	4,07	3,10	2,25	3,40	2,90	0,15
Средняя / Mean (X _p)	2,21	2,19	3,73	2,90	2,08	3,39	2,75	0,00
HCP / LSD	0,08	0,11	0,18	0,12	0,09	0,16		
Индекс условий года / Index of year conditions (I _p), t/ha	–0,54	–0,56	0,98	0,15	–0,67	0,64	0,00	

жайности сорта и средней урожайности по опыту к средней урожайности по опыту, выраженное в процентах (полученные результаты имеют как положительное, так и отрицательное значение):

$$I_{\%} = \frac{X_i - X}{X} * 100\%, \quad (4)$$

где: $I_{\%}$ – относительное значение индекса урожайности сорта; X_i – средняя урожайность i -го сорта; X – средняя урожайность по опыту.

Относительное значение индекса урожайности сорта 'Кинельская 59' равно: $I_{\%} = (2,35 - 2,75) / 2,75 * 100\% = -14,55\%$. Показатель свидетельствует о том, что сорт по продуктивности в анализируемых условиях на 14,55% уступает среднему значению опыта. Наиболее высокие относительные значения индекса урожайности показала селекционная линия Erythrospermum 6310, со значением 8,00%.

Важным показателем адаптивности и пластичности, хозяйственной ценности и приспособленности сорта к определенным агроэкологическим условиям среды является его отзывчивость на благоприятные условия. Степень отзывчивости сорта (R_i – variety responsiveness) на благоприятные условия среды в изучаемом наборе генотипов предлагаем определять как отношение разности урожайности в благоприятный год ($X_{i\max}$) и средней уро-

жайности по сорту (X_i) к средней урожайности по опыту (X), выраженное в процентах:

$$R_{\%} = \frac{X_{i\max} - X_i}{X} * 100\%, \quad (5)$$

где: $R_{\%}$ – степень отзывчивости сорта; $X_{i\max}$ – максимальная урожайность i -го сорта за годы испытания; X_i – средняя урожайность i -го сорта; X – средняя урожайность по опыту.

Относительное значение отзывчивости сорта 'Кинельская 59' в исследованиях составит: $R_i = (3,28 - 2,35) / 2,75 * 100\% = 33,82\%$. Данный показатель свидетельствует о том, что сорт 'Кинельская 59' при улучшении погодных и агротехнологических условий (в пределах изученных) способен увеличить продуктивность зерна на 33,82%, а сорт 'Кинельская юбилейная' – на 45,45% относительно средней продуктивности изучаемого набора сортов. Расчет показателя относительно средней урожайности по опыту сделан для того, чтобы несколько скорректировать отзывчивость сортов с низкой и высокой средней урожайностью, так как при делении на более высокие значения средней урожайности – при одинаковой фактической разности ($X_{i\max} - X_i$) – показатель будет снижаться, что не совсем корректно для предлагаемой методики.

Немаловажное значение в агроклиматических условиях зоны проведения исследований имеют показатели,

характеризующие устойчивость сорта к комплексу неблагоприятных факторов внешней среды, к которым в первую очередь относятся засушливые и остро засушливые явления, тепловой стресс и другие проявления абиотического и биотического характера. Одним из наиболее информативных показателей в данном случае является депрессия урожайности зерна на неблагоприятные факторы, как на отдельные из них, так и комплексное их воздействие. В работе предлагаем определить степень депрессии урожайности зерна сорта ($D_{i\%}$ – variety depression) как отношение разности урожайности сорта в неблагоприятный год ($X_{i\min}$) и урожайности в благоприятный ($X_{i\max}$) к урожайности в благоприятный год, выраженное в процентах:

$$D_{i\%} = \frac{X_{i\min} - X_{i\max}}{X_{i\max}} * 100\%, \quad (6)$$

где: $D_{i\%}$ – степень депрессии урожайности сорта; $X_{i\min}$ – минимальная урожайность i -го сорта за годы испытания; $X_{i\max}$ – максимальная урожайность i -го сорта за годы испытания.

Степень депрессии урожайности зерна сорта 'Кинельская 59' в опыте составляет: $D_{i\%} = (1,76 - 3,28) / 3,28 * 100\% = -46,34\%$. Минимальные значения отмечены у перспективной селекционной линии *Erythrospermum* 6310, а также экстенсивных сортов старой селекции, отличающиеся низкой средней урожайностью за годы исследований.

Следует отметить, что степень депрессии урожайности всегда имеет отрицательное значение и учитывает минимальные и максимальные значения продуктивности по сорту. При этом генотипы с более низким значением максимальной продуктивности (знаменатель) в опыте будут иметь относительно и более высокие (отрицательные) показатели степени депрессии, что вполне логично для разрабатываемой системы оценки генофонда.

В данной работе предлагаем ввести понятие агроэкологической адаптированности генотипа, которое сум-

марно будет учитывать следующие моменты: индекс урожайности сорта в определенном наборе испытываемых образцов, отзывчивость сорта на улучшение агроклиматических условий (погода, условия минерального питания растений и т. д.) и депрессию урожайности зерна на неблагоприятные факторы среды (засуха, жара, суховеи, эпифитотии болезней и вредителей или их комплексное воздействие).

Степень агроэкологической адаптированности сорта (DAA_i – The degree of agroecological adaptation of the variety) предлагаем рассчитать путем сложения трех показателей – относительного индекса урожайности зерна сорта ($I_{i\%}$), степени отзывчивости ($R_{i\%}$) на благоприятные условия и степени депрессии урожайности зерна сорта ($D_{i\%}$):

$$DAA_i = I_{i\%} + R_{i\%} + D_{i\%}, \quad (7)$$

где: DAA_i – степень агроэкологической адаптированности i -го сорта; $I_{i\%}$ – относительное значение индекса урожайности сорта; $R_{i\%}$ – степень отзывчивости сорта на благоприятные условия; $D_{i\%}$ – степень депрессии урожайности сорта, вызванная различными стрессовыми факторами.

Расчетные данные всех показателей по каждому сорту заносим в таблицу 2 и находим их суммарные значения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что значения агроэкологической адаптированности в исследованной группе генотипов находятся в интервале от плюс 4,73 до минус 27,07. По имеющемуся диапазону их можно ранжировать и/или распределить по трем или пяти группам агроэкологической адаптированности. Для этого находим рассчитать интервалы для групп методом сложения модулей минимального и максимального значения агроэкологической адаптированности генотипа (сорта) ($|-27,07| + 4,73 = 31,8$) и последующего деления полученного значения на количество групп: при делении на три группы получаем 10,6, а при делении на пять групп – 6,36.

Таблица 2. Агроэкологическая адаптированность сорта (DAA_i) и значения составляющих его показателей (%), ранг и степень адаптированности

Table 2. Agroecological adaptability of cultivars (DAA_i) and the values of their constituent indicators (%), rank and degree of adaptability

Сорт, линия / Cultivar, line	Составляющие показатели / Component indicators			DAA_i		Степень адаптированности / Degree of adaptability
	$I_{i\%}$	$R_{i\%}$	$D_{i\%}$	%	Ранг / Rank	
Кинельская 59	-14,55	33,82	-46,34	-27,07	14	низкая
Кинельская отрада	-11,27	34,85	-46,31	-23,04	13	низкая
Кинельская нива	-3,27	36,00	-44,93	-12,20	10	средняя
Кинельская 2010	-1,45	34,18	-47,12	-14,40	11	средняя
Кинельская юбилейная	3,64	45,45	-46,83	2,26	3	высокая
<i>Erythrospermum</i> 4144	1,09	44,73	-48,88	-3,06	6	высокая
<i>Erythrospermum</i> 4146	1,82	34,55	-45,60	-9,24	8	средняя
<i>Lutescens</i> 6102	7,27	41,09	-43,63	4,73	1	высокая

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Сорт, линия / Cultivar, line	Составляющие показатели / Component indicators			DAA _i		Степень адаптированности / Degree of adaptability
	I _{i%}	R _{i%}	D _{i%}	%	Ранг / Rank	
Erythrospermum 6310	8,00	27,64	-35,92	-0,29	4	высокая
Erythrospermum 6381	-0,36	31,27	-41,67	-10,76	9	средняя
Erythrospermum 6517	4,00	34,91	-42,93	-4,02	7	высокая
Erythrospermum 6019	-3,64	33,82	-46,65	-16,47	12	низкая
Lutescens 6029	3,27	44,36	-48,03	-0,39	5	высокая
Lutescens 6045	5,45	42,55	-44,72	3,28	2	высокая

Примечание: I_{i%} – относительный индекс урожайности сорта; R_{i%} – степень отзывчивости сорта; D_{i%} – степень депрессии урожайности сорта; DAA_i – степень агроэкологической адаптированности сорта

Note: I_{i%} – the cultivar's relative yield index; R_{i%} – the cultivar's responsiveness degree; D_{i%} – the cultivar's yield depression degree; DAA_i – the cultivar's agroecological adaptability degree

Для предварительной оценки генотипов при изучении коллекционного материала для селекционных целей достаточно распределения изучаемых форм на три группы: 1 – сорта с высокой степенью агроэкологической адаптированности к условиям среды, 2 – со средней степенью и 3 – с низкой степенью адаптированности. Интервал для первой группы всегда начинается с максимально полученного нами в исследованиях значения – плюс 4,73, следовательно, второй группы – с минус 5,87 (4,73–10,6) и третьей – с минус 16,47 (-5,87–10,6). Применяя такую градацию, получаем, что в первую группу с высокой степенью агроэкологической адаптированности входят семь образцов – перспективные линии Lutescens 6102, Lutescens 6045, Erythrospermum 6310, Lutescens 6029, Erythrospermum 4144, Erythrospermum 6517 и сорт 'Кинельская юбилейная'. Четыре образца попадают во вторую группу со средней степенью адаптированности – линии Erythrospermum 4146 и Erythrospermum 6381, сорта 'Кинельская нива' и 'Кинельская 2010'. Самую низкую степень агроэкологической адаптированности показали три образца – линия Erythrospermum 6019 и сорта более ранней селекции, включенные в Государственный реестр селекционных достижений с 1995 по 2009 г. – 'Кинельская отрада' и 'Кинельская 59'.

Более интересная картина в научном плане – плане оценки перспективного селекционного материала и оценки родительских форм – формируется при разделении образцов на пять групп. В первую группу (с интервалом +4,73...–1,62) при соответствующем разделении попадают пять образцов – линии Lutescens 6102, Lutescens 6045, Erythrospermum 6310, Lutescens 6029 и сорт 'Кинельская юбилейная'. Во вторую группу (-1,63...–7,98) два образца – линии Erythrospermum 4144 и Erythrospermum 6517. В третью группу (-7,99...–14,34) попадают две линии – Erythrospermum 4146, Erythrospermum 6381 – и сорт 'Кинельская нива'. В четвертую группу (-14,35...–20,70) – сорт 'Кинельская 2010' и линия Erythrospermum 6019. В пятую группу (-20,71...–27,07) – два сорта ранней селекции 'Кинельская отрада' и 'Кинельская 59'.

Заключение

Предложенная методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов культурных растений позволяет объективно оценивать изучаемый коллекционный и селекционный материал по степени приспособленности к условиям исследований, то есть условиям лет испытания или агроэкологических точек. При этом значения агроэкологической адаптированности и составляющих его элементов дают комплексное представление о характеристиках изучаемых генотипов по наиболее важным показателям отзывчивости и стрессоустойчивости растений и объективное представление о разнообразии откликов генотипов на изменение условий среды.

References / Литература

- Battisti D.S., Naylor R.L. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*. 2009;323(5911):240-244. DOI: 10.1126/science.1164363
- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/crops ci1966.0011183X000600010011x
- Hansen J., Sato M., Ruedy R. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012;109(37):2415-2423. DOI: 10.1073/pnas.1205276109
- Kahiluoto H., Kaseva J., Hakala K., Himanen S.J., Jauhiainen L., Rötter R.P. et al. Cultivating resilience by empirically revealing response diversity. *Global Environmental Change*. 2014;25:186-193. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.02.002
- Khangildin V.V., Biryukov S.V. The problem of homeostasis in genetic and breeding research (Problema gomeostaza v genetiko-selektionnykh issledovaniyakh). In: *Genetic and Cytological Aspects in Crop Breeding (Genetiko-tsi-*

- tologicheskiye aspekty v seleksii selskokhozyaystvennykh rasteniy*). Odessa: VSGI; 1984. p.67-76. [in Russian] (Хангильдин В.В., Бирюков С.В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях. В кн.: *Генетико-цитологические аспекты в селекции сельскохозяйственных растений*. Одесса: ВСГИ; 1984. С.67-76).
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Genotype and environment in plant breeding (Genotip i sreda v seleksii rasteniy). Minsk: Nauka i Tekhnika; 1989. [in Russian] (Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генотип и среда в селекции растений. Минск: Наука и техника; 1989).
- Kincharov A.I., Taranova T.Yu., Dyomina E.A. Specific reaction of spring soft wheat varieties to weather conditions. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020;9(162):61-68. [in Russian] (Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Дёмина Е.А. Специфическая реакция сортов яровой мягкой пшеницы на погодные условия. *Вестник КрасГАУ*. 2020;9(162):61-68). DOI 10.36718/1819-4036-2020-9-61-68
- Mäkinen H., Kaseva J., Virkajärvi P., Kahiluoto H. Managing resilience of forage crops to climate change through response diversity. *Field Crops Research*. 2015;183:23-30. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.006
- Malchikov P.N., Vyushkov A.A. Durum wheat breeding for yield (Seleksiya tverdog pshenitsy na urozhaynost). In: *Genetics, Breeding and Seed Production of Crops (to the 100th anniversary of Samara Scientific Research Institute of Agricultural Sciences) (Genetika, seleksiya i semenovodstvo selskokhozyaystvennykh kultur [k 100-letiyu Samarskogo NIISKh])*. Samara; 2003. p.89-118. [in Russian] (Мальчиков П.Н., Вьюшков А.А. Селекция твердой пшеницы на урожайность. В кн.: *Генетика, селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур (к 100-летию Самарского НИИСХ)*. Самара; 2003. С.89-118).
- Martynov S.P. Assessment of the environmental plasticity in crop cultivars (Otseka ekologicheskoy plastichnosti sortov selskokhozyaystvennykh kultur). *Agricultural Biology*. 1989;(3):124-128. [in Russian] (Мартынов С.П. Оценка экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 1989;(3):124-128).
- Methodology of state crop variety trials. Second issue. Cereals, groats, legumes, maize, and fodder crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury). Moscow: Gosagroprom SSSR; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Госагропром СССР; 1989).
- Popolzukhina N.A., Popolzukhin P.V., Gaidar A.A., Parshutkin Yu.Yu., Yakunina N.A. Development of the adaptive spring bread wheat cultivar 'Omskaya Yubileynaya' under the conditions of the Siberian region. *Proceeding on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):120-126. [in Russian] (Поползухина Н.А., Поползухин П.В., Гайдар А.А., Паршуткин Ю.Ю., Якунина Н.А. 'Омская юбилейная' – адаптивный сорт яровой мягкой пшеницы для Сибирского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(4):120-126). DOI 10.30901/2227-8834-2020-4-120-126
- Ray D.K., Gerber J.S., MacDonald G.K., West P.C. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*. 2015;6:5989. DOI: 10.1038/ncomms6989
- Rybas' I.A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology*. 2016;51(5):617-626. [in Russian] (Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):617-626). DOI 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus
- Semenov M.A., Shewry P.R. Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe. *Scientific Reports*. 2011;1:66. DOI: 10.1038/srep00066
- Valekzhanin V.S., Korobeinikov N.I. Ecological plasticity of genetically polymorphic samples of spring bread wheat. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2011;(12):25-27. [in Russian] (Валекжанин В.С., Коробейников Н.И. Экологическая пластичность генетически полиморфных образцов яровой мягкой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2011;(12):25-27).
- Vollset S.E., Goren E., Yuan C.W., Cao J., Smith A.E., Hsiao T. et al. Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet*. 2020;396(10258):1285-1306. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30677-2
- Zharkova S.V. Assessment of environmental adaptability parameters in a limited number of test points. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;10-1(37):138-141. [in Russian] (Жаркова С.В. Оценка параметров адаптивности среды в ограниченном количестве пунктов испытания. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019;10-1(37):138-141).
- Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Methods of detecting potential productivity and adaptability in cultivars and breeding forms of winter wheat according to their 'yield' indicator (Metodika vyyavleniya potentsialnoy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu "urozhaynosti"). *Seleksiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1994;(2):3-6. [in Russian] (Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности». *Селекция и семеноводство*. 1994;(2):3-6).
- Zhuchenko A.A. Opportunities for releasing plant cultivars and hybrids taking into account the climate change (Vozmozhnosti sozdaniya sortov i gibridov rasteniy s uchetom izmeneniya klimata). In: *A strategy for Adaptive Breeding of Field Crops in Connection with Global Climate Change (Strategiya adaptivnoy seleksii polevykh kultur v svyazi s globalnym izmeneniyem klimata)*. Saratov; 2004. p.10-16. [in Russian] (Жученко А.А. Возможности создания сортов и гибридов растений с учетом изменения климата. В кн.: *Стратегия адаптивной селекции полевых культур в связи с глобальным изменением климата*. Саратов; 2004. С.10-16).

Информация об авторах

Александр Иванович Кинчаров, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал СамНЦ РАН, 446442 Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76, kincharov_ai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5492-8582>

Елена Анатольевна Дёмина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией, Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал СамНЦ РАН, 446442 Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76, elena_pniiss@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4470-8022>

Марина Николаевна Кинчарова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал СамНЦ РАН, 446442 Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76, potatolab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1987-8708>

Татьяна Юрьевна Таранова, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал СамНЦ РАН, 446442 Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76, tatyana_0710.88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3090-8549>

Ольга Сергеевна Муллаянова, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал СамНЦ РАН, 446442 Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76, brezneva_os88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0163-4481>

Кристина Юрьевна Чекмасова, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал СамНЦ РАН, 446442 Россия, Самарская обл., пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76, kristina.chekmasova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2156-2075>

Information about the authors

Aleksandr I. Kincharov, Cand. Sci. (Agriculture), Director, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, 76 Shosseynaya St., Ust-Kinelsky Town., Samara Province 446442, Russia, kincharov_ai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5492-8582>

Elena A. Demina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, 76 Shosseynaya St., Ust-Kinelsky Town., Samara Province 446442, Russia, elena_pniiss@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4470-8022>

Marina N. Kincharova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, 76 Shosseynaya St., Ust-Kinelsky Town., Samara Province 446442, Russia, potatolab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1987-8708>

Tatyana Yu. Taranova, Associate Researcher, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, 76 Shosseynaya St., Ust-Kinelsky Town., Samara Province 446442, Russia, tatyana_0710.88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3090-8549>

Olga S. Mullayanova, Associate Researcher, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, 76 Shosseynaya St., Ust-Kinelsky Town., Samara Province 446442, Russia, brezneva_os88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0163-4481>

Kristina Yu. Chekmasova, Associate Researcher, Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, 76 Shosseynaya St., Ust-Kinelsky Town., Samara Province 446442, Russia, kristina.chekmasova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2156-2075>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.06.2021; одобрена после рецензирования 08.06.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 30.06.2021; approved after reviewing on 08.06.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Оценка адаптивности и качества плодов сортов яблони для интенсивных садов

Н. Г. Красова, З. Е. Ожерельева, А. М. Галашева, М. А. Макаркина, М. В. Лупин

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Нина Глебовна Красова, krasovang@vniispk.ru

Актуальность. Для успешного развития садоводства нужны конкурентоспособные сорта яблони, устойчивые к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам, скороплодные, с плодами высоких товарных и потребительских качеств, обеспечивающие высокую рентабельность производства.

Материалы и методы. Изучались 15 сортов яблони селекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК), созданные инновационными методами селекции с использованием доноров устойчивости к парше (ген *Rvi6*) и доноров диплоидных гамет, и 6 районированных зарубежных сортов яблони по общепринятым методикам сортоизучения. Контролем служил сорт 'Антоновка обыкновенная'.

Результаты. Моделирование повреждающих факторов позволило выявить устойчивость тканей и почек к раннезимним морозам сортов яблони отечественной селекции, которые без повреждений переносили понижение температуры в начале зимы -25°C и без существенных повреждений жизненно важных тканей – температуру -40°C в середине зимы, в том числе иммунные (ген *Rvi6*) триплоиды (3×) 'Александр Бойко', 'Академик Савельев', 'Вавиловское', 'Рождественское', и сорта 'Ивановское', 'Память Хитрово' (ген *Rvi6*). Сорт 'Gala' проявил низкую устойчивость жизненно важных тканей в середине зимы. Сорта 'Афродита', 'Благодать', 'Ивановское', 'Патриот', 'Старт', 'Рождественское' по урожайности значительно превосходили 'Антоновку' и остальные сорта.

Выводы. По товарным и потребительским качествам новые инновационные сорта зимнего срока потребления селекции ВНИИСПК не уступают иностранным, а по устойчивости к парше и адаптивности значительно превосходят. Сорта 'Академик Савельев', 'Александр Бойко', 'Афродита', 'Вавиловское', 'Ивановское', 'Праздничное', 'Рождественское' рекомендуются для возделывания в садах интенсивного типа.

Ключевые слова: *Malus domestica*, зимостойкость, болезни, скороплодность, потребительские качества

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Создание новых конкурентоспособных, адаптивных сортов семечковых культур с использованием инновационных методов селекции и разработка экологически безопасных элементов технологии выращивания, переработки и хранения» (FGZS-2022-0008).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М., Макаркина М.А., Лупин М.В. Оценка адаптивности и качества плодов сортов яблони для интенсивных садов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):48-59. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-48-59

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-48-59

Assessment of adaptability and fruit quality in new apple cultivars for intensive orchards

Nina G. Krasova, Zoya E. Ozherelieva, Anna M. Galasheva, Margarita A. Makarkina, Maxim V. Lupin

All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel Province, Russia

Corresponding author: Nina G. Krasova, krasovang@vniispk.ru

Background. Competitive early-fruiting apple cultivars with high commercial and consumer qualities, resistant to unfavorable stressors, are required for successful horticulture development.

Materials and methods. The study included apple cultivars developed by innovative methods using scab resistance donors (*Rvi6*) and diploid gamete donors. Foreign cultivars commercialized in the region were also used. Conventional variety testing techniques were applied. Fifteen cultivars released by the Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), 6 foreign cultivars, and one reference ('Antonovka obyknovennaya') were assessed.

Results. Simulating damaging factors helped to identify good resistance of tissues and buds of domestically bred apple cultivars to early winter frosts. These cultivars survived a temperature decrease to -30°C without damage in early winter and without significant damage (no more than 2.0 pts) at -40°C in midwinter, including the scab-immune (*Rvi6*) cultivars 'Ivanovskoye' and 'Pamyat Hitrovo', and immune triploids ($3\times$) 'Aleksandr Boyko', 'Akademik Saveliev' and 'Vavilovskoye'. Bud damage in 'Gala' and 'Ligol' was stronger (2.5 pts) and increased to 3.0 pts under simulated temperatures down to -38°C and -40°C . 'Gala' showed the lowest resistance in midwinter. Early-fruiting cvs. 'Blagodat', 'Ivanovskoye', 'Pamyat Hitrovo' and 'Rozhdestvenskoye' were identified. On average, triploids 'Blagodat' and 'Patriot', scab-immune 'Afrodita', 'Ivanovskoye' and 'Start', and scab-immune triploid 'Rozhdestvenskoye' significantly exceeded 'Antonovka' and other cultivars in yield.

Conclusion. The new innovative winter cultivars developed at VNIISPK matched foreign cultivars in marketability and consumer qualities, while in scab resistance and adaptability they significantly exceeded most of them. 'Akademik Saveliev', 'Aleksandr Boyko', 'Afrodita', 'Vavilovskoye', 'Ivanovskoye', 'Prazdnichnoye' and 'Rozhdestvenskoye' were recommended for intensive-type orchards.

Keywords: *Malus domestica*, winter hardiness, diseases, fruiting, commercial qualities

Acknowledgements: this research was conducted within the framework of the state task on the topic "Development of new competitive, adaptive cultivars of pome crops using innovative breeding methods and development of environmentally friendly elements of cultivation, processing and storage technologies" (FGZS-2022-0008).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Galasheva A.M., Makarkina M.A., Lupin M.V. Assessment of adaptability and fruit quality in new apple cultivars for intensive orchards. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):48-59. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-48-59

Введение

Современная интенсификация садоводства предусматривает инновационный подход к производству плодов и направлена на рациональное использование территории с использованием слаборослых клоновых подвоев, новых сортов и технологий, отвечающих современным требованиям и обеспечивающих высокую эффективность производства. Большая роль в повышении рентабельности насаждений яблони (*Malus domestica* Borkh.), увеличении количества и качества продукции принадлежит сорту, соответствующему современным требованиям производства и потребителей (Savelyev, 2002; Sedov, 2011; Onischenko, Belous, 2019; Egorov et al., 2019; Krasova et al., 2020).

Необходимо создавать и привлекать сорта конкурентоспособные, технологичные, скороплодные, устойчивые к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды, с плодами высокого качества (Sedov et al., 2008; Savelyev et al., 2009; Kalinina, Makarenko, 2013; Ikase, Lācis, 2013; Kazlouskaya, 2015; Ulyanovskaya et al., 2016; Sedov et al., 2020).

Проблемы сохранения и использования растительных генетических коллекций остаются государственными, стратегически важными для всех стран (Dzyubenko, 2015; Sedov, 2015; Bramel, Volk, 2019).

Генетические коллекции являются фундаментом селекционной работы, накопленным банком многообразия генов. Для получения новых адаптивных высококачественных сортов яблони широко используется исходный селекционный материал, полученный от сложных насыщающих скрещиваний (F_2 , F_3 и F_4), сочетающих ценные признаки (зимостойкость, устойчивость к болезням, скороплодность и др.) (Sedov et al., 2008; Kazlouskaya, 2015; Sansavini, Tartarini, 2013). Успех селекционной работы определяется наличием и целенаправленным подбором ценных исходных форм и доноров с высоким уровнем заданных признаков, о чем неоднократно писал Н. И. Вавилов (Vavilov, 1966).

ВНИИСПК (Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур) – старейшее помологическое учреждение, в котором сбор и изучение генофонда яблони начались в конце XIX века, когда в Россию был завезен посадочный материал яблони из Северной Америки. В течение длительного времени коллекция пополнялась местными сортами яблони народной селекции, урало-сибирскими и дальневосточными, а также новыми селекционными отечественными и зарубежными сортами, обладающими уникальными признаками. Основной целью работы с генетическими коллекциями в институте является создание и всесторонняя оценка исходного материала для выделения источников и доноров, обеспечивающих стабильное проявление ценных хозяйственно-биологических признаков при использовании в целенаправленной селекции (Sedov, 2011; Krasova, 2016). В результате селекции на устойчивость к парше на искусственном инфекционном фоне в институте созданы 32 сорта яблони с геном *Rvi6*. С использованием в селекции инновационного метода полиплоидии создано 17 триплоидных сортов яблони, в том числе 13 впервые в России и в мире – от интервалентных скрещиваний (Sedov, 2011). В последние годы создано 22 новых сорта в сотрудничестве с Северо-Кавказским научно-исследовательским институтом садоводства и виноградарства (Sedov et al., 2020; Ulyanovskaya et al., 2020).

В Государственный реестр по Центрально-Черноземной зоне в последние годы включен и получает широкое распространение, наряду с новыми сортами яблони отечественной селекции ('Александр Бойко', 'Вавиловское', 'Веньяминовское', 'Имрус', 'Ивановское', 'Орловский партизан', 'Патриот', 'Рождественское' и др.), и ряд зарубежных сортов ('Gala', 'Ligol', 'Lobo', 'Melba', 'Spartan', 'Honeycrisp'). Эти сорта, хорошо удающиеся на рынке плодов Западной Европы (Kozlovskaya, 2004; Onischenko, Belous, 2019), не прошли проверку на выносливость деревьев к периодически повторяющимся суровым зимам и недостатку тепла в короткий вегетационный период средней зоны садоводства России.

В условиях умеренно континентального нестабильного климата средней зоны России эффективное садоводство является рискованной и энергоемкой отраслью, его эффективность в значительной мере определяется факторами внешней среды, такими как короткий вегетационный период с частыми весенними засухами, ранне-зимними морозами, низкими критическими температурами, чередующимися с оттепелями, весенними заморозками.

В связи с особенностями климата средней зоны садоводства России возникает необходимость тщательного изучения и отбора новых поступлений сортов, особенно зарубежных. Для средней зоны садоводства России основным направлением для успешного разведения яблони является создание и подбор сортов, сочетающих устойчивость к неблагоприятным факторам осенне-зимнего периода: (часто повторяющиеся суровые зимы с оттепелями и недостаток тепла в короткий вегетационный период) с высокими потребительскими качествами плодов.

Цель данной работы – оценка и обобщение данных изучения в конкретных условиях новых сортов яблони, в том числе триплоидных, иммунных и высокоустойчивых к парше, созданных во ВНИИСПК, и в сравнении с ними – некоторых зарубежных сортов.

Изучение адаптивного потенциала сортов по устойчивости к абиотическим факторам среды, скороплодности, товарным и потребительским качествам плодов позволит выделить и рекомендовать лучшие сорта яблони для создания высокоэффективных яблоневых насаждений.

Материалы и методы

Исследования проводили на участке производственного сортоизучения яблони ВНИИСПК. Орловская область расположена в центральной части Среднерусской возвышенности на высоте 203 м н. у. м., в зоне умеренно континентального климата. Среднегодовая температура воздуха составляет 4,6°C, средняя температура зимних месяцев –8,4°C, абсолютный минимум воздуха –39,9°C, абсолютный максимум летом +40°C, сумма температур выше +10°C составляет 2250°C, вегетационный период –175–185 дней. Активный период роста составляет 139–149 дней. Среднегодовое количество осадков составляет 550 мм, весной отмечены засухи и суховеи.

Объектами исследования были сорта яблони селекции ВНИИСПК зимнего срока созревания и зарубежные сорта, в том числе:

1. Сорта отечественной селекции:

– диплоиды (2×) – 'Вита', 'Куликовское';

– диплоиды, иммунные к парше (2×, ген *Rvi6*), – 'Афродита', 'Здоровье', 'Ивановское', 'Памяти Хитрово', 'Старт';

– триплоиды (3×) – ‘Министр Киселев’, ‘Благодать’, ‘Патриот’;

– триплоиды, иммунные к парше (3×, ген *Rvi6*), – ‘Академик Савельев’, ‘Александр Бойко’, ‘Вавиловское’, ‘Праздничное’, ‘Рождественское’.

2. Зарубежные сорта – ‘Gala’, ‘Ligol’, ‘Lobo’, ‘Melba’, ‘Spartan’, ‘Honeycrisp’.

3. Контрольный сорт – ‘Антоновка обыкновенная’.

Подвой – среднерослый клоновый 54-118, деревья посажены осенью 2014 г. по схеме 6 × 3 м.

Были использованы общепринятые методики сортоизучения в полевых и лабораторных условиях (Sedov et al., 1999) с учетом методики UPOV TG/14/5 (UPOV..., 2020).

Изучение зимостойкости проводили методом моделирования повреждающих факторов с использованием камеры (environmental test chamber) ESPEC PSL-2KPH.

Оценка повреждений тканей и органов низкими температурами в зимний период проводилась по 5-балльной шкале, где 0 – отсутствие повреждений, 5 – полная гибель тканей дерева. Промороженные ветви оценивали по повреждению тканей в соответствии с потемнением.

Результаты

Зимостойкость сортов яблони

Зимостойкость сорта определяется генотипом, но проявление ее в значительной степени зависит от метеорологических условий и степени подготовки тканей в осенний период. Зимостойкое состояние дерева развивается в процессе закалывания после окончания роста и вхождения в состояние покоя под влиянием постепенно снижающейся температуры.

Анализ метеорологических данных за 50-летний период показал неустойчивый характер погодных условий в Орловской области. По многолетним данным, средняя температура зимних месяцев составляет –8,4°C, но по годам этот показатель очень непостоянен: за период с 1968 по 2021 г. наблюдаются значительные колебания этого показателя от –10,7°C (зима 1978/79 г.) до –0,4°C (зима 2019/20 г.) (данные метеостанции ВНИИСПК). Холодные зимние периоды сменялись умеренно теплыми.

Изучение представленных сортов совпало с периодом теплых зим (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика зимних условий (данные метеостанции ВНИИСПК) с 2012 по 2021 г.

Table 1. Winter environments in 2012–2021 (data of the VNIISPК weather station)

Годы	Средняя температура зимних месяцев (среднегодовая –8,4°C)	Сумма среднесуточных отрицательных температур, °C	Минимальная температура, воздуха, °C
2012/2013	–6,6	951,5	–31,7
2013/2014	–5,9	576,1	–31,0
2014/2015	–5,1	486,5	–24,5
2015/2016	–4,3	499,3	–29,3
2016/2017	–6,6	601,3	–24,4
2017/2018	–4,9	695,0	–26,1
2018/2019	–5,0	554,6	–24,5
2019/2020	–0,4	112,6	–15,0
2020/2021	–6,7	669,5	–29,3

Моделирование условий промораживания проводили по режимам основных компонентов морозостойкости после закалки при температуре –5°C и –10°C (5 суток):

I – устойчивость к ранним морозам в начале декабря (–5°C, –10°C, –25°C и –5°C, –10°C, –30°C);

II – максимальный уровень морозостойкости в декабре – феврале (режим промораживания: –5°C, –10°C, –38°C и –5°C, –10°C, –40°C);

III – устойчивость к морозу после оттепелей (режим промораживания: –5°C, –10°C, +2°C, –25°C).

Снижение температуры – по 5°C в час; критические температуры выдерживали 8 часов; оттепель (+2°C) – 2 суток.

Внешний вид плодов и вкус оценивали по 5-балльной системе. Сенсорная оценка плодов проведена с учетом шкалы: десертный вкус – 4,5 балла и выше, отличный столовый вкус – 4,3–4,4 балла, хороший вкус – 4,2 балла.

Статистическая обработка данных проведена общепринятыми методами с использованием программы Microsoft Office Excel 2010.

Посаженные осенью 2013 г. опытные насаждения яблони благополучно перенесли умеренные зимы первых семи лет своего роста и развития. Постепенное снижение температуры осенью с закалкой способствовало хорошей подготовке изучаемых сортов к зимним условиям. Кратковременное снижение температуры воздуха в отдельные зимы (до –31,0...–31,7°C) не вызвало повреждений тканей и органов деревьев в полевых условиях. Поэтому для выяснения реакции на возможные низкие температуры и выявления порога устойчивости было проведено искусственное промораживание сортов по компонентам зимостойкости методом моделирования повреждающих факторов с целью определения возможного ареала их возделывания. В результате искусственного промораживания по компонентам морозостойкости выявлена хорошая устойчивость к раннезимним морозам сортов яблони отечественной селекции, которые без повреждений переносят понижение температуры в начале зимы до –25°C и –30°C после закалки. Отмечено при этих температурах повреждение почек у новозеландского сорта ‘Gala’ до 2,5

балла, коры – до 2,0 балла. У сортов 'Ligol' (Польша) и 'Lobo' (Канада) при снижении температуры до -30°C повреждение почек составило 2,5 и 3,0 балла соответственно.

Моделирование температуры промораживания в середине зимы (-38°C) позволило выявить у большинства сортов обратимые повреждения почек сильнее, чем у сорта 'Антоновка обыкновенная'. Сильнее других были повреждены почки иностранных сортов 'Gala', 'Ligol', 'Melba', 'Spartan', 'Honeycrisp' и отечественных – 'Памяти Хитрово', 'Старт', 'Патриот', (более 2,0 балла). При усилении мороза до -40°C повреждение почек у этих сортов усилилось, особенно у сортов 'Gala', 'Melba', 'Spartan', 'Старт' – до 3,0–3,2 балла. Значительное повреждение жизненно важной ткани коры отмечено при температуре -38°C и -40°C у сорта 'Gala' (2,9 и 3,0 балла соответственно). Значительные повреждения древесины отмечены у сортов 'Melba', 'Spartan', 'Благодать', 'Старт' (2,4–3,0 балла).

Обратимые повреждения древесины при -40°C выявлены у сортов 'Министр Киселев', 'Афродита', 'Вита'. Камбий, как более устойчивая ткань, показал хорошую устойчивость у большинства сортов (существенно ниже сорта 'Антоновка обыкновенная', но достаточную для температуры -40°C), кроме сорта 'Gala', устойчивость тканей и почек которого при критической температуре -40°C была низкой.

Высокую устойчивость жизненно важных тканей коры и древесины проявили при моделировании температуры -38°C и -40°C новые иммунные к парше сорта селекции ВНИИСПК – 'Ивановское', 'Здоровье' и 'Памяти Хитрово', а также иммунные триплоиды 'Александр Бойко', 'Рождественское', 'Академик Савельев', 'Вавиловское'. В происхождении сорта 'Вавиловское' принимал участие старинный высокзимостойкий сорт народной селекции 'Скряжапель' (Krasova, 2020).

Большое значение имеет устойчивость плодового дерева к иссушению и повреждению морозами после оттепелей и при резких колебаниях температуры днем и ночью. В феврале при моделировании температуры -25°C после оттепели $+2^{\circ}\text{C}$ отмечено повреждение почек у сортов 'Ligol' и 'Gala' до 1,7 балла. У сорта 'Gala' были повреждены до 1 балла кора и камбий. Сорта селекции ВНИИСПК сохраняли зимостойкое состояние к понижению температуры до -25°C после оттепелей.

Таким образом, установлена хорошая устойчивость к раннезимним понижениям температур у сортов отечественной селекции, у большинства из них – также к понижению температуры до -38°C и -40°C в середине зимы с обратимыми повреждениями коры, древесины, камбия и зимостойкое состояние к понижению температуры до -25°C после оттепелей.

У иностранных сортов повреждение почек и тканей при температуре -38°C и -40°C были существенно сильнее повреждений контрольного сорта 'Антоновка обыкновенная'. У сорта 'Gala' выявлена самая слабая устойчивость почек, коры и даже камбия к низким зимним температурам и к морозам после оттепелей.

При усилении мороза до -40°C повреждение почек и древесины у сортов 'Melba', 'Spartan', 'Старт' было значительным – до 3,0–3,2 балла (табл. 2).

Урожайность сортов

Эффективность интенсивного сада определяют скороплодность и быстрота нарастания урожайности сорта яблони по годам (табл. 3).

У сортов 'Благодать', 'Ивановское', 'Памяти Хитрово', 'Рождественское' на полукарликовом подвое 54-118 на-

чало плодоношения отмечено на 3-4-й год, а первые цветки появились на следующий год после посадки деревьев.

В возрасте пяти лет сорта 'Афродита', 'Благодать', 'Старт', 'Ивановское', 'Патриот' приносили 10–18 кг/дер. (6–10 т/га) с увеличением урожая до 31–34 кг/дер. (17–20 т/га) у сортов 'Ивановское' и 'Патриот' в семилетнем возрасте деревьев. У сортов 'Благодать', 'Ивановское', 'Памяти Хитрово', 'Рождественское' на полукарликовом подвое 54-118 начало плодоношения отмечено на 3-4-й год, а первые цветки появились на следующий год после посадки деревьев.

В возрасте 5 лет сорта 'Афродита', 'Благодать', 'Старт', 'Ивановское', 'Патриот' приносили 10–18 кг/дер. (6–10 т/га) с увеличением урожая до 31–34 кг/дер. (17–20 т/га) у сортов 'Ивановское' и 'Патриот' – в возрасте деревьев 7 лет (см. табл. 3). Раннее вступление в плодоношение отмечено также у сортов 'Gala' и 'Рождественское'. В среднем за период изучения триплоидные сорта 'Благодать', 'Патриот', иммунные к парше сорта 'Афродита', 'Ивановское', 'Старт', иммунный к парше триплоид 'Рождественское', а также сорт 'Gala' по урожайности и нагрузке на единицу поперечного сечения площади штамба дерева значительно превосходят остальные сорта (рисунок), урожайность которых была на уровне контрольного сорта 'Антоновка обыкновенная'. Позднее вступление в плодоношение отмечено у сортов 'Здоровье', 'Министр Киселев', 'Орловский партизан', 'Память Семакину', 'Тургеневское'.

Интенсивный сад может быть создан не только при использовании слаборослых сортов, но и сортов любой другой силы роста в сочетании со слаборослым подвоем. В саду такого типа для формирования кроны дерева с заданными параметрами необходимо проведение ежегодной тщательной обрезки кроны для поддержки определенного габитуса. Неизменным остается только показатель прироста площади поперечного сечения штамба, по которому можно судить о темпах и силе роста дерева. Наибольшая площадь поперечного сечения штамба в возрасте семи лет была у иммунных к парше сортов 'Здоровье', 'Ивановское', 'Памяти Хитрово', а также у триплоидных сортов 'Патриот' и 'Министр Киселев' (56–64 cm^2).

Быстрорастущие деревья сортов 'Здоровье', 'Министр Киселев', 'Тургеневское', 'Орловский партизан' показали очень низкую нагрузку урожая на единицу площади поперечного сечения штамба (см. рисунок).

Товарные и потребительские качества плодов

Для удовлетворения потребительского спроса и обеспечения конкурентоспособности сортов плоды яблони должны иметь привлекательный товарный вид и соответствовать вкусам покупателей.

Сорта яблони 'Golden Delicious', 'Granny Smith', 'Gala', 'Jonagold', 'Idared', 'Breburn', 'Pink Lady', 'Fuji', 'Honeycrisp', 'Ligol' и другие, созданные в Австралии, Америке, Новой Зеландии, Польше, Японии, по длительности хранения плодов, товарным качествам пользуются определенным успехом у покупателей. Потребителей привлекают однородность тщательно отсортированных плодов, их нарядный вид, хрустящая сочная мякоть и сладкий вкус. Покупатель выбирает яблоки по внешнему виду, предпочитая плоды известных сортов со знакомым вкусом.

Но по ряду показателей товарности новые селекционные сорта яблони селекции ВНИИСПК не уступают импортным. Так, по размеру плодов сорта 'Академик Савельев', 'Благодать', 'Вавиловское', 'Министр Киселев', 'Па-

Таблица 2. Степень повреждения сортов яблони при моделировании (в камере ESPEC PSL-2KPH) температуры -38°C и -40°C в середине зимы 2021/2022 г. (баллы)**Table 2.** Damage to apple cultivars under the simulated (in the ESPEC PSL-2KPH chamber) temperatures of -38°C and -40°C in the midwinter of 2021/2022 (points)

Сорт	-5°C , -10°C , -38°C				-5°C , -10°C , -40°C			
	Почки	Кора	Древесина	Камбий	Почки	Кора	Древесина	Камбий
<i>Сорта селекции ВНИИСПК</i>								
Академик Савельев	1,8	0,1	1,00	0,10	2,30	0,84	1,5	0,1
Александр Бойко	1,7	0,1	0,1	0,1	2,0	0,1	2,0	0,1
Афродита	2,0	0,1	0,8	0,1	2,5	1,3	2,3	0,6
Благодать	2,0	1,6	1,2	1,4	2,7	1,6	2,5	1,1
Вавиловское	1,8	0,4	0,1	0,1	2,1	0,80	1,7	0,4
Вита	1,6	0,1	1,9	0,1	2,3	1,6	2,3	0,8
Здоровье	1,8	0,1	0,5	0,1	2,2	1,2	2,1	1,0
Ивановское	1,8	0,1	0,3	0,1	2,2	1,1	1,6	0,8
Куликовское	1,8	0,1	1,4	0,1	2,3	1,1	2,2	0,6
Министр Киселев	1,5	0,1	0,1	0,1	2,5	1,9	2,3	1,0
Памяти Хитрово	2,0	0,1	1,4	0,1	2,2	1,0	2,0	0,6
Патриот	2,4	0,5	1,0	1,1	2,9	1,0	2,2	1,0
Праздничное	2,0	0,7	1,2	0,1	2,7	1,3	2,1	1,2
Рождественское	1,1	0,1	0,1	0,1	2,0	1,0	2,0	0,1
Старт	2,3	1,0	2,2	1,0	3,1	1,4	2,9	1,0
<i>Сорта иностранные</i>								
Gala	3,0	2,9	1,0	2,2	3,2	3,0	2,3	2,5
Honeycrisp	2,4	0,2	1,3	0,1	2,5	0,2	1,9	0,1
Ligol	2,1	0,8	1,1	0,8	2,7	1,1	2,0	0,8
Lobo	1,9	0,1	1,3	0,1	2,0	1,0	2,0	0,6
Melba	2,5	1,1	1,6	0,8	3,1	1,9	3,0	1,00
Spartan	2,3	1,4	1,4	0,8	3,0	1,40	2,4	1,0
<i>Контрольный сорт</i>								
Антоновка обыкновенная	0,6	0,1	0,1	0,1	1,9	0,64	1,2	0,1
НСР ₀₅	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3

**Таблица 3. Урожайность сортов яблони в 2019–2021 гг.
на участке первичного сортоизучения****Table 3. Yield of apple cultivars in 2019–2021
at the primary variety testing site**

Сорт	Урожайность (кг/дер.) в возрасте:			
	5 лет	6 лет	7 лет	среднее
<i>Сорта селекции ВНИИСПК</i>				
Академик Савельев	2,0	10,3	10,5	7,5
Александр Бойко	2,1	11,5	4,5	6,0
Афродита	12,2	24,3	17,6	18,0
Благодать	15,0	7,1	25,8	16,0
Вавиловское	1,1	5,6	13,0	6,6
Вита	0,9	11,1	10,7	7,6
Здоровье	3,3	4,8	3,8	4,0
Ивановское	18,4	9,4	31,2	19,7
Куликовское	4,0	10,0	6,1	6,7
Министр Киселев	0,2	4,0	4,2	2,8
Памяти Хитрово	3,6	1,0	23,3	9,3
Патриот	11,3	6,4	34,3	17,3
Праздничное	1,0	1,2	16,6	6,4
Рождественское	4,4	20,4	20,7	15,2
Старт	10,6	5,9	21,7	12,7
Тургеневское	0,4	0,5	1,9	0,9
<i>Сорта иностранные</i>				
Gala	9,0	30,0	10,0	16,3
Ligol	7,5	12,5	15,0	11,7
Spartan	4,3	12,3	11,2	9,3
<i>Контрольный сорт</i>				
Антоновка обыкновенная	0,7	1,3	3,9	2,0
НСР ₀₅				10,2

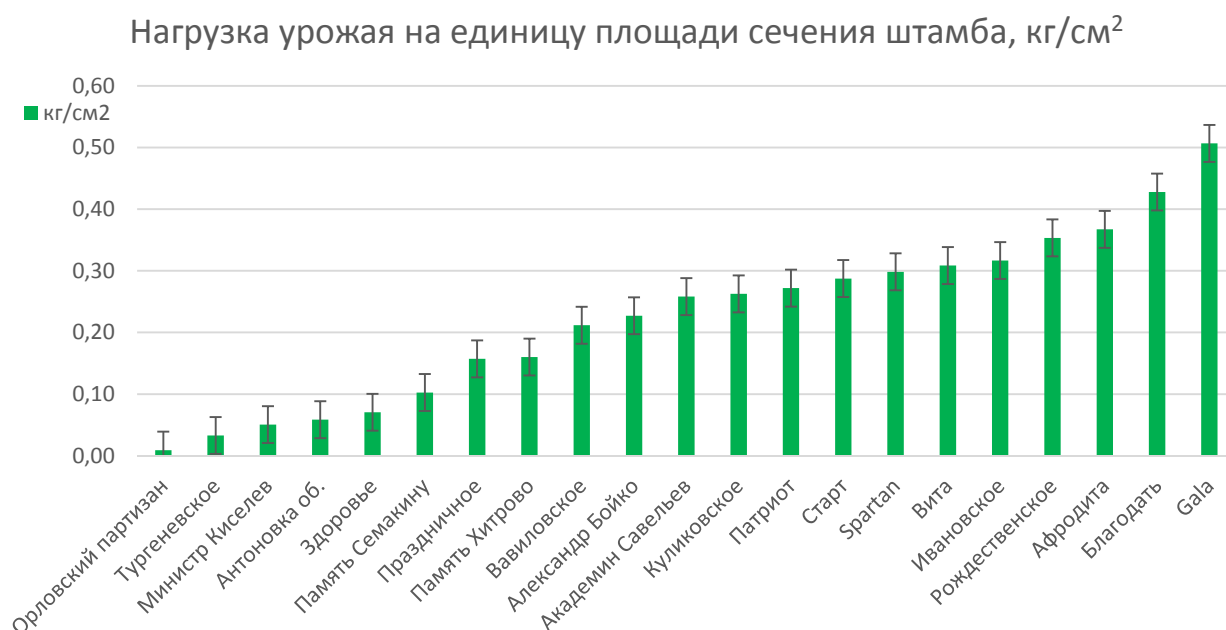


Рисунок. Нагрузка урожая на единицу площади штамба (2019–2021 гг.)

Figure. Yield load per area unit of the trunk (2019–2021)

мять Семакину', 'Праздничное' не уступают, по градации UPOV TG/14/5 (UPOV..., 2020), сортам 'Ligol' и 'Honeycrisp', а сорта 'Александр Бойко', 'Рождественское' и 'Патриот' превосходят их (табл. 4). На дегустации в период полной потребительской спелости по внешнему виду эти сорта были оценены на 4,5–4,8 балла.

Очень привлекательный яркий красный румянец полностью покрывает плоды сортов 'Александр Бойко', 'Ивановское', 'Память Семакину'. Интенсивный яркий, малиново-красный румянец на всей поверхности плода – у сортов 'Афродита', 'Веньяминовское', 'Министр Киселев'. Очень красивая покровная окраска плодов в виде густого темно-красного румянца с бордовым оттенком – у сортов 'Рождественское', 'Праздничное', нежный розовато-красный румянец покрывает плоды сортов 'Вавиловское', 'Благодать'.

Плоды сорта 'Александр Бойко' могут храниться в холодильниках до начала марта, сортов 'Вавиловское', 'Праздничное' – до февраля, сортов 'Ивановское', 'Память Семакину', 'Веньяминовское', 'Министр Киселев' – до конца января, сохраняя сочность и аромат мякоти.

Вкус яблока определяет содержание растворимых сухих веществ, сахаров, органических кислот, аромат, консистенция и сочность мякоти. Предпочтительнее плоды с гармоничным вкусом. В Европе эталоном хорошего вкуса считаются сладкие яблоки, такие как 'Honeycrisp', 'Gala', 'Red Delicious', 'Fuji', но пользуются спросом также сорта с кисло-сладкими плодами – 'Breburn', 'Jonagold', 'Elstar' (Kozlovskaya, 2004). Сенсорная оценка сортов яблони, произрастающих на участке производственного испытания ВНИИСПК, показала, что мякоть плодов сортов 'Gala' и 'Honeycrisp' была более плотной и хрустящей, но общая оценка вкуса этих сортов не превосходила оценку сортов 'Александр Бойко', 'Благодать', 'Вавиловское', 'Праздничное', 'Рождественское'. Вкусовые качества этих сортов оценивались как десертные, на 4,5–4,7 балла. Содержание сахаров у всех изученных сортов было высоким, максимальный показатель (14,2%) – у сортов 'Александр Бойко' и 'Веньяминовское' (табл. 5). Яблоки ценят-

ся не только за прекрасные вкусовые качества, но и как источник витаминов и минеральных веществ. По содержанию аскорбиновой кислоты сорта 'Антоновка обыкновенная' и 'Веньяминовское' превосходят все остальные сорта.

Высокое содержание Р-активных веществ (катехинов и лейкоантоцианов) отмечено у сортов 'Вавиловское', 'Ивановское', 'Modi', 'Jonagold', самое низкое – у сорта 'Ligol'.

Обсуждение

Отечественным сортам стало трудно конкурировать на рынке с импортными яблоками и посадочным материалом зарубежных сортов, огромным потоком хлынувшими в наш регион. Отсутствие стрессовых ситуаций в средней зоне садоводства России в осенне-зимний период и благоприятный теплый вегетационный период последних лет не позволяют сделать объективное заключение об адаптивных возможностях импортных сортов яблони.

В результате изучения потенциала устойчивости сортов яблони в стрессовых условиях методом моделирования повреждающих факторов зимнего периода установлены существенные различия по устойчивости тканей и почек сортов разного происхождения. Сорта отечественной селекции проявили хорошую устойчивость к раннезимним понижениям температуры, у большинства из них выявлена устойчивость к понижению температуры до -38°C и -40°C в середине зимы с обратимыми повреждениями коры, древесины, камбия, а также способность сохранять зимостойкое состояние к морозу -25°C после оттепелей. Высокой устойчивостью жизненно важных тканей коры и древесины при моделировании температуры -38°C и -40°C выделились новые иммунные к парше сорта селекции ВНИИСПК 'Ивановское', 'Здоровье' и 'Памяти Хитрово', а также иммунные триплоиды 'Александр Бойко', 'Рождественское', 'Академик Савельев', 'Вавиловское'. У иностранных сортов повреждения почек

Таблица 4. Качество плодов яблони на дегустации ВНИИСПК в 2021 г.**Table 4. Apple fruit quality tested at VNIISPК in 2021**

Сорт	Средний вес плода, г	Оценка внешнего вида, балл	Оценка вкуса, балл
Сорта селекции ВНИИСПК			
Академик Савельев	170	4,4	4,4
Александр Бойко	200	4,8	4,5
Афродита	140	4,4	4,5
Благодать	180	4,7	4,5
Вавиловское	180	4,6	4,4
Веньяминовское	160	4,5	4,4
Вита	150	4,3	4,3
Ивановское	160	4,5	4,4
Куликовское	140	4,4	4,3
Министр Киселев	170	4,5	4,5
Орловский партизан	190	4,5	4,4
Память Семакину	170	4,6	4,4
Памяти Хитрово	170	4,4	4,4
Патриот	220	4,5	4,4
Праздничное	180	4,6	4,5
Рождественское	200	4,7	4,5
Старт	160	4,4	4,3
Сорта иностранные			
Gala	160	4,6	4,6
Ligol	170	4,5	4,4
Lobo	160	4,5	4,6
Spartan	140	4,4	4,4
Honeycrisp	180	4,5	4,6
Контрольный сорт			
Антоновка обыкновенная	160	4,2	4,2
НСП 05		0,12	0,12

и тканей при температуре -38°C и -40°C были существенно сильнее повреждений контрольного сорта 'Антоновка обыкновенная'. У сорта 'Gala' выявлена самая слабая устойчивость почек, коры и даже камбия к низким зимним температурам и к морозам после оттепелей. При усилении мороза до -40°C повреждение почек и древесины у сортов 'Melba', 'Spartan' было значительным, до 3,0–3,2 балла. Более слабую устойчивость почек эти сорта проявили и к морозам -25°C после моделируемой четырехдневной оттепели при температуре $+2^{\circ}\text{C}$.

Плоды новых отечественных сортов яблони 'Академик Савельев', 'Веньяминовское', 'Память Семакину', 'Праздничное', 'Патриот', 'Александр Бойко', 'Благодать', 'Вавиловское', 'Министр Киселев' и 'Рождественское' по товарным качествам и привлекательности плодов, а последние пять сортов и по вкусу плодов, не уступают иностранным сортам 'Ligol' и 'Honeycrisp'. Плоды новых отечественных сортов ценятся по содержанию питательных и биологически активных веществ. Плоды сортов 'Александр Бойко' и 'Веньяминов-

Таблица 5. Химический состав плодов сортов яблони
(2021 г., данные лаборатории биохимической оценки сортов ВНИИСПК)
Table 5. Fruit chemical composition of apple cultivars
(2021, data from the VNIISPK Laboratory of Biochemical Evaluation of Cultivars)

Сорт	Растворимые сухие вещества, %	Титруемая кислотность, %	Сахара, %			Сахаро-кислотный индекс	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Сумма Р-акт. веществ, мг/100 г
			Моносахара	Сахароза	Сумма сахаров, %			
Сорта селекции ВНИИСПК								
Александр Бойко	13,2	0,46	9,1	5,0	14,1	30,6	1,8	748,5
Вавиловское	13,2	0,50	9,6	3,2	12,8	25,6	5,2	1012,5
Веньяминовское	12,8	0,57	9,3	4,9	14,2	24,9	17,6	589,0
Ивановское	15,3	0,28	10,9	2,0	12,9	46,2	7,0	1041,5
Рождественское	13,2	0,34	8,7	3,0	11,7	34,4	2,6	556,5
Сорта иностранные								
Chief Spur	13,6	0,47	8,8	3,2	12,0	25,6	7,0	916,8
Gala	14,3	0,45	–	–	–	11,6	7,5	–
Modi	13,5	0,28	10,4	2,5	12,9	46,1	3,5	1240,5
Honeycrisp	13,7	0,41	8,7	4,1	12,	31,1	5,2	937,8
Jonagold	15,0	0,46	9,4	4,1	13,5	29,4	8,8	1025,9
Ligol	13,7	0,49	9, 2	21	12,3	25,1	7,9	241,8
Lobo	13,6	0,42	8,9	3,1	12,0	28,7	3,5	728,7
Контрольный сорт								
Антоновка обыкновенная	12,9	1,33	9,0	2,0	11,0	8,3	13,2	939,0

ское' по содержанию сахаров превосходили эталонно сладкий сорт 'Honeycrisp'. По содержанию аскорбиновой кислоты сорта 'Антоновка обыкновенная' и 'Веньяминовское' превосходят все остальные.

Изученные новые отечественные сорта яблони сочетают экологическую устойчивость с высокими товарными и потребительскими качествами плодов. Они вполне могут конкурировать на рынке плодов с зарубежными сортами, а при выборе сортимента для посадки отечественные иммунные к парше и триплоидные сорта имеют большие преимущества, учитывая их адаптивность, устойчивость к парше и высокие товарные и потребительские качества.

Выводы

1. Высокой устойчивостью жизненно важных тканей коры и древесины выделились при моделировании температуры стрессовых ситуаций новые иммунные к парше сорта селекции ВНИИСПК 'Ивановское', 'Здоровье' и 'Памяти Хитрово', а также иммунные триплоиды 'Александр Бойко', 'Рождественское', 'Академик Савельев', 'Вавиловское'.

2. В первые годы роста в саду триплоидные сорта 'Благодать', 'Патриот', иммунные к парше сорта 'Афродита', 'Ивановское', 'Старт', иммунный к парше триплоид 'Рождественское' по урожайности и нагрузке на единицу поперечного сечения площади штамба дерева значительно превосходят другие изученные сорта и контроль 'Антоновку обыкновенную'.

3. По товарным и потребительским качествам новые инновационные сорта зимнего срока потребления селекции ВНИИСПК – иммунный к парше сорт 'Ивановское' и иммунные триплоиды 'Александр Бойко', 'Академик Савельев', 'Вавиловское', 'Рождественское' – не уступают изученным иностранным сортам, а по устойчивости к парше и адаптивности значительно превосходят большинство из них.

4. Учитывая адаптивность, устойчивость к парше и высокие товарные и потребительские качества плодов, сорта 'Афродита', 'Ивановское' (иммунные к парше, ген Rvi6) и сорта 'Академик Савельев', 'Александр Бойко', 'Вавиловское', 'Праздничное', 'Рождественское' (иммунные триплоиды) рекомендуются для широкого производственного размножения и закладки интенсивных садов.

References / Литература

- Bramel P., Volk G.M. A global strategy for the conservation and use of apple genetic resources. Bonn: Global Crop Diversity Trust; 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.34072.34562
- Dzyubenko N.I. Genetic resources of cultivated plants as the basis for Russia's food and environmental security. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2015;1(85):3-9. [in Russian] [Дзюбенко Н.И. Генетические ресурсы культурных растений – основа продовольственной и экологической безопасности России. *Вестник Российской Академии наук*. 2015;1(85):3-9]. DOI: 10.1134/S1019331615010013
- Egorov E.A., Zaremuk R.S., Ulyanovskaya E.V., Artyukh S.N., Alyokhina E.M., Lugovskaya A.P. et al. Apple varieties (Sorta yabloni). In: *Domestic varieties of garden crops and grapes for southern horticulture (Educational and methodological manual) (Otechestvennye sorta sadovykh kultur i vinograda dlya yuzhnogo sadovodstva [Uchebno-metodicheskoye posobiye])*. Krasnodar; 2019. p.9-69. [in Russian] (Егоров Е.А., Заремук Р.Ш., Ульяновская Е.В., Артюх С.Н., Алехина Е.М., Луговская А.П. и др. Сорта яблони. В кн.: *Отечественные сорта садовых культур и винограда для южного садоводства (Учебно-методическое пособие)*. Краснодар; 2019. С.9-69).
- Ikase L., Lācis G. Apple breeding and genetic resources in Latvia. *Acta Horticulturae*. 2013;976(5):69-74. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.976.5
- Kalinina I.P., Makarenko S.A. Results and prospects of apple breeding in Altai. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2013;(7):9-11. [in Russian] (Калинина И.П., Макаренко С.А. Результаты и перспективы селекции яблони на Алтае. *Достижения науки и техники АПК*. 2013;(7):9-11).
- Kazlouskaya Z.A. Apple breeding in Belarus (Seleksiya yabloni v Belarusi). Minsk: Belaruskaya Navuka; 2015. [in Russian] (Козловская З.А. Селекция яблони в Беларуси. Минск: Белорусская наука; 2015).
- Kozlovskaya Z.A. Modern trends in apple breeding (a review of foreign breeding programs) (Sovremennye napravleniya seleksii yabloni [obzor zarubezhnykh selektsionnykh program]). In: *Fruit growing. Scientific papers. Vol. 16 (Plodovodstvo. Nauchnye trudy. T. 16)*. Minsk; 2004. p.256-267. [in Russian] (Козловская З.А. Современные направления селекции яблони (обзор зарубежных селекционных программ). *Плодоводство. Научные труды. Т. 16*. Минск; 2004. С.256-267).
- Krasova N.G. The initial material for the creation of apple varieties of high quality. *Horticulture and Viticulture*. 2016;(3):18-22. [in Russian] (Красова Н.Г. Исходный материал для создания высококачественных сортов яблони. *Садоводство и виноградарство*. 2016;(3):18-22). DOI: 10.18454/vstisp.2016.3.1924
- Krasova N.G., Galasheva A.M., Korolyev E.Yu. Contemporary assortment of apple in Central Black Earth Region and prospects of gene pool of All-Russian Research Institute for Fruit Crop Breeding in selection. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020;(4):13-17. [in Russian] (Красова Н.Г., Галашева А.М., Королев Е.Ю., Современный сортимент яблони в ЦЧО и перспективы использования генофонда ВНИИСПК в селекции. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2020;(4):13-17). DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/13-17
- Onischenko K.V., Belous O.G. Analysis of the main trends in apple cultivation (literature review). *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2019;(68):137-146. [in Russian] (Онищенко К.В., Белоус О.Г. Анализ основных направлений в возделывании яблони (литературный обзор). *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2019;(68):137-146). DOI: 10.31360/2225-3068-2019-68-137-146
- Sansavini S., Tartarini S. Advances in apple breeding and genetic control of the main agronomic resistance and fruit quality traits. *Acta Horticulturae*. 2013;976:43-55. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.976.2
- Savelyev N.I. (ed.). Creation of new varieties and donors of valuable traits based on identified genes of fruit plants (Sozdaniye novykh sortov i donorov tsennyykh priznakov na osnove identifikirovannykh genov plodovykh rasteniy). Michurinsk; 2002. [in Russian] (Создание новых сортов и доноров ценных признаков на основе идентифицированных генов плодовых растений / под ред. Н.И. Савельева. Мичуринск; 2002).
- Savelyev N.I., Savelyeva N.N., Yushkov A.N. Promising apple varieties immune to scab (Perspektivnye immunnnye k parshe sorta yabloni). Michurinsk; 2009. [in Russian] (Савельев Н.И., Савельева Н.Н., Юшков А.Н. Перспективные иммунные к парше сорта яблони. Мичуринск; 2009).
- Sedov E.N. Apple gene pool use, sources and donors of economically valuable traits. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):104-110. [in Russian] (Седов Е.Н. Использование генофонда яблони: источники и доноры хозяйственно-полезных признаков. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):104-110).
- Sedov E.N. Breeding and new apple cultivars (Seleksiya i novye sorta yabloni). Orel: VNIISPK; 2011. [in Russian] (Седов Е.Н. Селекция и новые сорта яблони. Орел: ВНИИСПК; 2011).
- Sedov E.N., Krasova N.G., Zhdanov V.V., Dolmatov E.A., Mozhar N.V. Pome crops (apple, pear, and quince) (Semchkovye kultury [yablonya, grusha, ayva]). In: E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (eds). *Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur)*. Orel: VNIISPK; 1999. p.253-299. [in Russian] (Седов Е.Н., Красова Н.Г., Жданов В.В., Долматов Е.А., Можар Н.В. Семечковые культуры (яблоня, груша, айва). В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999. С.253-299).
- Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M. Apple breeding at the polyploidy level (Seleksiya yabloni na poliploidnom urovne). Orel: VNIISPK; 2008. [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М. Селекция яблони на полиплоидном уровне. Орел: ВНИИСПК; 2008).
- Sedov E.N., Yanchuk T.V., Korneeva S.A., Dutova L.I., Ulianovskaya E.V. Results of cooperation between breeders of different institutions in creation of new generation apple tree. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020;(4):46-49. [in Russian] (Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А., Дутова Л.И., Ульяновская Е.В. Результаты сотрудничества селекционеров разных учреждений в создании сортов яблони нового поколения. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2020;(4):46-49). DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/46-49
- Ulyanovskaya E.V., Atabiev K.M., Belenko E.A. Priority directions of apple selection for improving the assortment of the North Caucasus Region. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2020;7(1-2):160-163. [in Russian] (Ульяновская Е.В., Атабиев К.М., Беленко Е.А.

- Приоритетные направления селекции яблони для совершенствования сортимента Северо-Кавказского региона. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2020;7(1-2):160-163. DOI: 10.24411/2500-0454-2020-11240
- Ulyanovskaya E.V., Prichko T.G., Artyukh S.N., Efimova I.L. Promising immune and resistant to scab apple varieties for the Southern zone of horticulture. *Horticulture and Viticulture*. 2016;(4):9-14. [in Russian] (Ульяновская Е.В., Причко Т.Г., Артюх С.Н., Ефимова И.Л. Перспективные иммунные и устойчивые к парше сорта яблони для южной зоны садоводства. *Садоводство и виноградарство*. 2016;(4):9-14). DOI: 10.18454/VSTISP.2016.4.2839
- UPOV. Document TGP/14/5. Associated document to the general introduction to the examination of distinctness, uniformity and stability and the development of harmonized descriptions of new varieties of plants (document TG/1/3). Geneva; 2020. Available from: https://www.upov.int/edocs/tgpdocs/en/tgp_14.pdf [accessed Jan. 14, 2022].
- Vavilov N.I. Selected works. Genetics and breeding (Izbrannye sochineniya. Genetika i selektsiya). Moscow: Kolos; 1966. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные сочинения. Генетика и селекция. Москва: Колос; 1966).

Информация об авторах

Нина Глебовна Красова, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, krasovang@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7896-0149>

Зоя Евгеньевна Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, ozherelieva@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

Анна Мионовна Галашева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, galasheva@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8795-9991>

Маргарита Алексеевна Макаркина, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, makarkina@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7979-3426>

Максим Владимирович Лупин, аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 302530 Россия Орловская область, Орловский район, д. Жилина, lupin@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3979-9158>

Information about the authors

Nina G. Krasova, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, krasovang@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7896-0149>

Zoya E. Ozherelieva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of a Laboratory, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, ozherelieva@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

Anna M. Galasheva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, galasheva@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8795-9991>

Margarita A. Makarkina, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Head of a Laboratory, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, makarkina@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7979-3426>

Maxim V. Lupin, Postgraduate Student, Associate Researcher, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia, lupin@vniispk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3979-9158>

Вклад авторов: Красова Н.Г. – идея, постановка эксперимента, разработка цели, подготовка черного варианта рукописи, обработка и анализ экспериментальных данных, подготовка обсуждения, выводов; Ожерельева З.Е. – постановка эксперимента по компонентам зимостойкости; Галашева А.М. – статистическая обработка полученных данных, постановка эксперимента; Макаркина М.А. – постановка эксперимента и получение данных по биохимическому составу плодов; Лупин М.В. – анализ литературы по теме исследования, подготовка рукописи после рецензирования.

Contribution of the authors: N.G. Krasova – idea, setting up the experiment, developing a goal, preparing a draft version of the manuscript, processing and analyzing experimental data, preparing discussions, and conclusions; Z.E. Ozherelieva – setting up an experiment on the components of winter hardiness; A.M. Galasheva – statistical processing of the obtained data, and setting up the experiment; M.A. Makarkina – setting up the experiment and obtaining data on the biochemical composition of fruits; Lupin M.V. – analyzing the literature on the research topic, and preparing the manuscript after reviewing.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.03.2022; одобрена после рецензирования 11.04.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 24.03.2022; approved after reviewing on 11.04.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Накопление химических элементов в корнях молочая Фишера (*Euphorbia fischeriana* Steudel) в бассейне р. Шилка (Забайкальский край)

В. П. Макаров

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Петрович Макаров, vm2853@mail.ru

Актуальность. *Euphorbia fischeriana* Steudel используется в народной и традиционной медицине России, Китая. В корнях растения обнаружен 241 химический компонент, однако недостаточно информации об элементном составе растения. Концентрация химических элементов в растениях влияет на эффективность лекарственных препаратов.

Материалы и методы. Исследования проведены в Забайкальском крае. Анализ растения проведен с помощью масс-спектрометра ICP-MS Elan 9000 (Канада). Использована методика измерений содержания металлов в твердых объектах ИСП-МС, ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Химический анализ почвы проведен силами Государственной станции агрохимической службы «Костромская». Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты. Рассмотрено накопление в корнях растения макро- и микроэлементов: Ca, P, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Mo, Cr, Co, Se, Cu, B, Ni, V, As, Li, Pb, Ba, Bi, Cd, Hg, Be, Sb, Rb, Zr, Sn, Ag, W, Sr, Ti. Установлены химические элементы, концентрации которых значительно выше или, напротив, ниже кларка наземных растений. В 2–14 раз превышало кларк наземных растений (по убыванию) накопление Ti, Ag, As, Cr, Sr, Li, Ba, Mo, Fe, Bi и Sb. Низкая (0.01–5% кларка) концентрация в корнях *E. fischeriana* отмечена для Mn, Cd, Se, особенно для V и Cu. Концентрация As на пробных площадях превышала допустимое содержание в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах (OFS.1.5.3.0009.15).

Заключение. Исследования позволили установить в корнях *E. fischeriana* дефицит ряда жизненно важных элементов, несоответствие растительного сырья по допустимой норме As, а также повышенное относительно кларка накопление ряда токсичных и потенциально токсичных элементов.

Ключевые слова: лекарственные растения, корни, макроэлементы, токсичные микроэлементы

Благодарности: работа выполнена по проекту № 121032200128-1 «Изучение геосистем горнопромышленных территорий с благороднометалльным оруденением Забайкалья с целью прогноза гипогенного и гипергенно-техногенного минерального сырья и оценки влияния на окружающую среду».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Макаров В.П. Накопление химических элементов в корнях молочая Фишера (*Euphorbia fischeriana* Steudel) в бассейне р. Шилка (Забайкальский край). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):60-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-60-72

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-60-72

Accumulation of chemical elements in the roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel in the Shilka river basin (Transbaikal region)

Vladimir P. Makarov

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia***Corresponding author:** Vladimir P. Makarov, vm2853@mail.ru

Background. *Euphorbia fischeriana* Steudel is used in traditional and herbal medicine in Russia and China. Its roots contain 241 chemical components, but there is not enough knowledge about the plant's elemental composition. Concentrations of chemical elements in plants have an impact the effectiveness of medical products.

Materials and methods. The research was conducted in the Transbaikal region. Plants were analyzed using an ICP-MS Elan 9000 mass spectrometer (Canada). The ICP-MS method of measuring metal content in solid objects, PND F 16.1:2.3:3.11-98 was used. Chemical analysis of the soil was performed at Kostromskaya State Station of Agrochemical Service. The obtained data were statistically processed using the Microsoft Excel software.

Results. The accumulation of macro- and microelements in plant roots was studied (Ca, P, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Mo, Cr, Co, Se, Cu, B, Ni, V, As, Li, Pb, Ba, Bi, Cd, Hg, Be, Sb, Rb, Zr, Sn, Ag, W, Sr, and Ti). The chemical elements whose concentrations were significantly higher or, contrariwise, lower than the clarke of terrestrial plants were identified. Accumulations of Ti, Ag, As, Cr, Sr, Li, Ba, Mo, Fe, Bi, and Sb in descending order were 2–14 times higher than the clarke of terrestrial plants. Concentrations of Mn, Cd, Se, and especially V and Cu in *E. fischeriana* roots were low (0.01–5% of the clarke). The concentration of As in the test areas exceeded the threshold limit value for medicinal herbage and medicinal plant products (OFS.1.5.3.0009.15).

Conclusion. The study made it possible to find deficiencies of a number of vital elements in *E. fischeriana* roots, discrepancy between the tested herbage and the threshold limit value for As, and increased accumulation of a number of toxic and potentially toxic elements compared with the clarke.

Keywords: medicinal plants, roots, trace elements, toxic trace elements

Acknowledgements: the work was carried out under Project No. 121032200128-1 “Studying geosystems of mining territories with precious metal mineralization in Transbaikalia in order to forecast hypogenic and hypergenic/technogenic mineral raw materials and assess the impact on the environment”.

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Makarov V.P. Accumulation of chemical elements in the roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel in the Shilka river basin (Transbaikal region). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):60-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-60-72

Введение

Концентрация химических элементов, таких как K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu и Cd, в лекарственных растениях влияет на эффективность лекарственных препаратов, изготовленных из лекарственного растительного сырья. Особое значение имеет концентрация жизненно важных и токсичных химических элементов. Роль многих других химических элементов в растениях и в организме человека еще должным образом не установлена.

Обнаружено наличие статистически значимых корреляций между отдельными элементами (K, Mg, Fe, Mn и Cd) и органическими соединениями (гиперицином, рутином, гиперозидом и неохлорогеновой, хлорогеновой и розмариновой кислотами). С практической точки зрения наиболее важными являются положительные корреляции Fe и рутина, а также отрицательные корреляции между Mn и гиперозидом и Cd с хлорогеновой кислотой (Derkach, Starikova, 2019). Обнаружено несколько существенных корреляций между Fe, Zn и Mn и общими флавоноидами (Konieczynski et al., 2018). Общее содержание флавоноидов положительно коррелировало с Cu и отрицательно с Ca (Konieczynski et al., 2015). Значительные корреляции обнаружены между общим содержанием P – содержанием неорганического фосфата P, Z – Mn, Mn – Cu, общей антиоксидантной активностью флавоноидов и кверцетина с кофейной и феруловой кислотами (Konieczynski et al., 2016).

Кроме того, наблюдаются и корреляции между химическими элементами. Например, в листьях лекарственных трав наблюдалась отрицательная корреляция между Fe и Mn и положительная корреляция между Zn и Cr (Garg et al., 2007). Демонстрировали сильную корреляцию Cu и Zn ($r = 0,89$), Rb и Cs ($r = 0,87$) (Choudhury et al., 2008). Корреляционный анализ выявил часто встречающиеся связи между P и несколькими металлами и фенолами, а также между Zn и другими метаболитами флавоноидов, фенольных кислот и алкалоидов (Konieczynski et al., 2017).

Одним из лекарственных растений, произрастающих в Забайкальском крае, является *Euphorbia fischeriana* Steudel. Хотя растение не внесено в список видов растений, разрешенных Государственной фармакопеей к медицинскому применению в России, оно используется в народной медицине России (Telyatyev, 1976; Kornopol'tseva, Buraeva, 2007; Попов, 2008). *E. fischeriana* встречается в Забайкальском крае, Амурской области, Монголии и Маньчжурии. Растет на каменистых и щебнистых южных степных склонах, реже в равнинных степях. Цветоносные стебли 20–50 см высотой, толстые, крепкие, густо облиственные. Листья 3–7 см длины, 1–2 см ширины, жесткие, собраны в 2–3 мутовки из 5–6 листьев. Соцветия зонтиковидные. Корень очень толстый, имеющий вид ветвистого клубня (Flora of Central Siberia..., 1979; Flora of Siberia..., 1996). В Китае растение давно используется в традиционной медицине. Его применяют для лечения диспепсии, вздутия живота, боли в животе, кашля, а также для наружного применения, такого как лечение чешотки и туберкулеза лимфатических узлов (Sun, Liu, 2011). В общей сложности из корней *E. fischeriana* был идентифицирован 241 химический компонент, включая дитерпеноиды, тритерпеноиды, меротерпеноиды, ацетофеноны, флавоноиды, кумарины, стероиды, фенольные кислоты, дубильные вещества и т. д. Были продемонстрированы различные фармакологические действия, особенно противоопухолевая, антибактериальная, противо-

воспалительная, противовирусная и противолейкозная активность (Li et al., 2021). В ходе исследований было отмечено, что многие из выделенных дитерпеноидных соединений из этого лекарственного растения обладают цитотоксичностью в отношении целого ряда типов раковых клеток. Считается, что дитерпеноиды являются основными противоопухолевыми компонентами *E. fischeriana* (Jian et al., 2018).

В России в корнях молочая Фишера идентифицированы фенольные кислоты – кофейная, галловая, цикориевая, неохлорогеновая и феруловая, кумарин, а также флавоноиды: рутин, кверцетин и катехин. Среди фенольных кислот доминируют кофейная и галловая, а среди флавоноидов преобладает рутин. Обнаружено значительное содержание кальция, калия, магния, фосфора и цинка (Martynov et al., 2022). В надземной части растений в составе агликонов обнаружены кверцетин, кемпферол, миритетин, изорамнетин и шесть неидентифицированных флавоноидов (Kargova, Khramova, 2011). Доказана эффективность использования экстракта молочая Фишера при пародонтите в эксперименте на 80 лабораторных крысах (Krivosheeva et al., 2010). Выявлено, что наиболее выраженными защитными антигипоксическими и антиоксидантными свойствами обладает экстракт из корней молочая Фишера (Krivosheeva et al., 2011). Показано, что аппликация экстракта молочая Палласа при хроническом гингивите вызывает положительные сдвиги в состоянии микроциркуляции тканей пародонта: показателя микроциркуляции, нейрогенного и миогенного тонуса (Krivosheeva et al., 2009). Обнаружены иммуномодулирующие свойства настойки корней при экспериментальной иммунодепрессии (Khobrakova et al., 2007). Содержащиеся в молочае селен, алкалоиды, сапонины, флавоноиды, лактоны с антибактериальной и противовирусной активностью стимулируют образование антител, повышают защиту организма от инфекционных и простудных заболеваний, что обуславливает их антимикробную, антибактериальную, бактерицидную, фунгицидную активность (Kohan, Krivosheeva, 2010).

E. fischeriana произрастает в Забайкальском крае в основном в юго-восточных степных и лесостепных районах. Северные ценопопуляции растения встречаются в бассейне р. Шилка. Обнаружены также редкие ценопопуляции растения в юго-западных районах края. *E. fischeriana* включен в Красную книгу Забайкальского края (Попов, 2017).

E. fischeriana в районе исследований – очень редкое и уязвимое растение, внесено в Красную книгу региона. В то же время его корни заготавливаются населением края для лечения различных заболеваний, усиливается спрос на лекарственное сырье растения со стороны Китая. Это создает опасность сокращения популяций растения, его генетического разнообразия. Для защиты растения кроме усиления природоохранных мероприятий важно оценить возможность культивирования растения, чтобы снизить спрос на дикорастущее сырье.

Исследование мест произрастания молочая Фишера, состава и концентрации химических элементов в лекарственном сырье позволит оценить особенности условий произрастания растения, качество лекарственного сырья, а при дальнейших исследованиях растения сравнить полученные результаты с другими местами произрастания, в том числе в условиях культуры.

Цель исследования – оценка концентрации химических элементов в корнях *E. fischeriana* в природных условиях бассейна р. Шилка.

Материал и методы

Исследование растений проведено в бассейне р. Шилка в третьей декаде августа 2020 г. Растения *E. fischeriana* находились в фазе плодоношения (созревания семян).

Исследования проведены на пробных площадях. Фиксировались географические координаты, экспозиция и крутизна склона, тип растительного сообщества, а также антропогенное влияние на растения (рисунок, табл. 1).

Для отбора растительных проб в местах произрастания растений выкапывали не более 2-3 корней (растение редкое), очищали их от почвы, промывали в проточной, а затем в дистиллированной воде и высушивали до воздушно-сухого состояния. Затем корни измельчались до однородного состояния для последующего химического анализа. Отбор растительных проб проведен на трех участках № 8, № 10 и № 12.

Анализ растительных образцов проведен в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (Дальне-



Рисунок. Расположение пробных площадей в бассейне р. Шилка

Figure. Location of the test areas in the Shilka river basin

Таблица 1. Характеристика местопроизрастания *Euphorbia fischeriana* Steudel

Table 1. Habitat characteristics of *Euphorbia fischeriana* Steudel

Номер пробной площади / Test area No.	Географические координаты / Geographic coordinates	Растительное сообщество / Plant community	Экспозиция склона / Slope exposure	Крутизна склона, град. / Slope steepness, degree	Антропогенное влияние / Human impact
8	N52,0281 E116,576	Степь разнотравно-ковыльная	юго-восточный	10	выпас скота, пожары
10	N51,813 E115,911	Степь разнотравная, закустаренная	восточный	25	пожары
11	N51,802 E115,893	Степь разнотравная	южный	25	пожары
12	N51,790 E115,795	Степь разнотравно-вострещовая	южный	5	нет

восточное отделение РАН) с помощью масс-спектрометра ICP-MS Elan 9000 (Канада). Использована методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом ИСП-МС (PND F 16.1:2.3:3.11-98..., 1998).

Образцы почвы отбирали из корневой зоны растений и затем смешивали для получения средней пробы. В дальнейшем проводили подготовку почвы для отправки на анализ в лабораторию. Отбор почвенных проб по организационным причинам проведен только на двух участках – № 8 и № 10.

Химический анализ почвы проведен в ФГБУ Государственная станция агрохимической службы «Костромская» следующими методами: гранулометрический состав почвы – методом раскатывания; pH солевой вытяжки – ГОСТ 26483-85 (GOST 26483-85..., 1985); общий N – ГОСТ Р 54650-2011 (GOST R 54650-2011..., 2013); подвижный P и K – ГОСТ Р 54650-2011, разделы 9.2 и 9.3 (GOST R 54650-2011..., 2013); валовая форма Fe и Na – М-М-ВИ-80-2008 (ФР.1.31.2013.14150) (М-М-ВИ-80-2008..., 2008); Hg – ПНД Ф 16.1:2.2.2.80-2013 (М-03-09-2013) (PND F 16.1:2.2.2.80-2013..., 2013); As – ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.48-06 (ФР.1.34.2005.02119) (PND F 16.1:2.2.2.3.48-06..., 2006); молибден – М-М-ВИ-80-2008 (ФР.1.31.2013.14150) (М-М-ВИ-80-2008..., 2008); подвижные формы Pb, Cd, Zn, Cu, Cr и Mn – РД 52.18.289 – 90 (RD 52.18.289 – 90..., 1990); подвижный фтор – по методическим указаниям (Guidelines for determining..., 1993); обменный Ca – ГОСТ 26487-85, раздел 3 (GOST 26487-85..., 1985); подвижная форма S – ГОСТ 26490-85 (GOST 26490-85..., 1985); хлориды в водной вытяжке – ГОСТ 26425-85, раздел 1 (GOST 26490-85..., 1985).

Результаты

Гранулометрический состав почв мест произрастания растений песчаный или суглинок. Кислотность почвы близка к нейтральной и нейтральная. Содержание общего азота в почвах очень низкое. Обеспеченность почвы подвижными фосфором – от очень низкого до низкого уровня, калием – от низкого до высокого значения.

Содержание в почве микроэлементов не превышает предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06) (Threshold limit values..., 2006). Содержание в почве подвижных P, K, Zn и обменного Ca, а также pH солевой вытяжки на исследованных участках достоверно отличаются по доверительному интервалу. Другие показатели состава почвы были одинаковы или близки по величине (табл. 2).

Жизненно важные элементы

К жизненно необходимым химическим элементам принято относить те, дефицит которых в организме достоверно приводит к какому-либо патологическому состоянию.

Концентрация в корнях *E. fischeriana* макроэлементов Ca, P, Mg, Na была меньше кларка наземных растений, находясь в пределах 31–63% от кларка (табл. 3).

Концентрации жизненно необходимых микроэлементов Fe, Mn, Zn, Mo, Cr, Co, Se и Cu в корнях *E. fischeriana* по отношению к кларку наземных растений имеют значительные различия. Концентрация Fe, Mo и Cr больше кларка в 3–5 раз. Близко к величине кларка накопление Co (78% от кларка), значительно ниже накопление Zn (29%), особенно Mn, Se (5%) и Cu (0.01%).

Накопление Fe, Cr и Cu в корнях *E. fischeriana* отличалось низким варьированием (CV < 10%). Изменчивость концентрации Mn, Zn, Co и Se была сильной (CV > 25%). Значительно различалось по пробным площадям накопление в корнях растения Mo (CV > 100%), хотя валовое содержание элемента в почве на исследованных участках было одинаково.

Условно жизненно необходимыми считаются В, Ni, V, As, Li. По отношению к кларку наземных растений высокой концентрацией в корнях *E. fischeriana* отличаются мышьяк (600%) и литий (320%). Близко накопление к кларку никеля (90%). Концентрации в корнях растения бора (18%) и особенно ванадия (0,06%) значительно уступают кларку наземных растений.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах, согласно ОФС.1.5.3.0009.15 (ОФС.1.5.3.0009.15..., 2015), составляет 0,5 мг/кг. В наших исследованиях только на пробной площади № 8 накопление элемента было ниже ПДК. На участках № 10 и № 12 наблюдалось превышение норматива в 1,2 и 4,9 раза.

Низкой изменчивостью по пробным площадям отличается концентрация в корнях ванадия (CV < 10%). Средний уровень варьирования концентрации отмечен для бора и лития (CV = 10–25%). Сильно различается по участкам накопление в корнях растения никеля и мышьяка (CV > 25%).

К токсичным микроэлементам отнесены: Pb, Ba, Bi, Cd, Hg, Be, Sb. Более высокой концентрацией по отношению к кларку наземных растений характеризуются Sb (233%), Bi (267) и Ba (303). Накопление в корнях *E. fischeriana* Pb, Cd, Hg и Be по отношению к кларку находится в пределах 10–67%.

Вариация накопления Bi и Hg на исследованных площадях очень сильная (CV > 100%). Сильной изменчивостью уровня концентрации на участках характеризуются Cd, Be и Sb (CV > 25%). Среднее варьирование отмечено у свинца и бария (CV = 10–25%).

Предельно допустимое содержание тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах, согласно ОФС.1.5.3.0009.15 (ОФС.1.5.3.0009.15..., 2015), составляет для свинца – 6,0, кадмия – 1,0, ртути – 0,1 и мышьяка – 0,5 мг/кг. По этим требованиям накопление в корнях *E. fischeriana* Pb, Cd и Hg не превышает ПДК.

Определена концентрация **потенциально токсичных микроэлементов** Rb, Zr, Sn, Ag, W, Sr, Ti. В корнях *E. fischeriana* по отношению к кларку наземных растений отмечена более высокие концентрации титана (1430%), серебра (900%) и стронция (348%). Накопление в корнях растения W, Rb, Zr и Sn находилось по отношению к кларку наземных растений в пределах 14–43%. Превышение среднего (фоновое) показателя концентрации элементов в наземных растениях мира свидетельствует о геохимических особенностях места произрастания растения и потенциальной токсичности лекарственного сырья.

Очень высокие различия концентрации (CV > 100%) на пробных площадях отмечены для олова, серебра и вольфрама. Сильно варьирует накопление рутиния и циркония (CV > 25%), и средним уровнем варьирования накопления в корнях *E. fischeriana* характеризуются стронций и титан (CV = 10–25%).

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почвы в местах произрастания *Euphorbia fischeriana* Steudel**Table 2. Agrochemical characteristics of the soil in the sites with *Euphorbia fischeriana* Steudel**

Показатель / Indicator	Пробная площадь № 8 / Test area No. 8	Пробная площадь № 10 / Test area No. 10	Величина ПДК (мг/кг) с учетом фона (кларка) / TLV (mg/kg) adjusted to the background (clarke)
Гранулометрический состав	суглинок средний	песчаный	
pH солевой вытяжки, ед. pH	6,6 ± 0,1	6,1 ± 0,1	
Общий N, %	> 0,012 (0,035)	> 0,012 (0,030)	
Подвижный Р по методу Кирсанова, мг/кг	32,1 ± 6,4	15,0 ± 5,3	
Подвижный К по методу Кирсанова, мг/кг	171,3 ± 25,7	51,0 ± 10,2	
Fe (валовая форма), мг/кг	> 5000	> 5000	
Na (валовая форма), мг/кг	58,48 ± 17,54	66,50 ± 19,95	
Hg, мг/кг	0,025 ± 0,011	0,014 ± 0,006	2,1
As, мг/кг	0,80 ± 0,24	0,85 ± 0,25	2,0
Mo (валовая форма), мг/кг	< 5,0	< 5,0	
Pb (подвижная форма), мкг/мл	< 1,0	< 1,0	6,0
Cd (подвижная форма), мкг/мл	< 0,05	< 0,05	
Zn (подвижная форма), мкг/мл	0,20 ± 0,07	0,059 ± 0,021	23,0
Cu (подвижная форма), мкг/мл	< 0,2	< 0,2	3,0
Cr (подвижная форма), мкг/мл	< 0,5	< 0,5	6,0
Mn (подвижная форма), мкг/мл	> 3,0	> 3,0	100,0
Подвижный F, мг/кг	< 0,95	< 0,95	2,8
Обменный Ca, ммоль/100г	13,52 ± 1,01	7,80 ± 0,59	
S (подвижная форма), мг/кг	16,9 ± 1,3	14,5 ± 1,1	
Хлориды в водной вытяжке, ммоль/100 г	< 0,5	< 0,5	

Таблица 3. Концентрация химических элементов в корнях *Euphorbia fischeriana* Steudel, мг/кг
Table 3. Concentrations of chemical elements in the roots of *Euphorbia fischeriana* Steudel, mg/kg

Элемент / Element	Пробная площадь / Test area			Среднее / Mean	Мин. / Min.	Макс. / Max.	CV, %	Кларк наземных растений, мг/кг* / Clarke of terrestrial plants, mg/kg*	Отношение к кларку, % / Ratio to the clarke, %	ПДК в раститель- ном сырье, мг / кг / TLV in herbage, mg/kg
	№ 8	№ 10	№ 12							
Ca	6416,1	5515,0	4560,4	5500 ± 500	4560,4	6416,1	16,9	18000	31	
P	2038,2	1232,7	1086,9	1450 ± 300	1086,9	2038,2	35,3	2300	63	
Mg	1263,8	1168,2	1121,3	1180 ± 40	1121,4	1263,8	6,1	3200	37	
Na	557,6	849,1	803,3	740 ± 90	557,6	849,1	21,3	1200	61	
Fe	385,3	379,3	397,0	387 ± 5	379,3	397,0	2,3	140	277	
Sr	114,1	77,9	79,4	90 ± 12	77,9	114,1	22,6	26	348	
Ba	49,8	31,6	45,9	42 ± 5	31,6	49,8	22,5	14	303	
Mn	25,4	25,7	43,5	32 ± 6	25,4	43,5	32,9	630	5	
Zn	32,8	20,3	34,9	30 ± 5	20,3	34,9	27,0	100	29	
Ti	16,0	12,4	14,5	14 ± 1	12,4	16,0	12,9	1,0	1430	
B	8,7	10,6	7,1	9 ± 1	7,1	10,6	20,0	50	18	
Rb	3,6	3,0	7,0	4,5 ± 1,2	3,0	7,0	47,3	20	23	
Ni	1,5	4,7	1,9	2,7 ± 1,0	1,5	4,7	64,6	3	90	
Mo	0,9	6,4	0,9	2,7 ± 1,8	0,9	6,4	115,4	0,9	300	
Pb	2,0	1,6	1,7	1,8 ± 0,1	1,6	2,0	12,8	2,7	67	6,0
Cr	1,2	1,3	1,4	1,3 ± 0,1	1,2	1,4	6,8	0,23	565	

Таблица 3. Окончание
Table 3. The end

Элемент / Element	Пробная площадь / Test area			Среднее / Mean	Мин. / Min.	Макс. / Max.	CV, %	Кларк наземных растений, мг/кг* / Clarke of terrestrial plants, mg/kg*	Отношение к кларку, % / Ratio to the clarke, %	ПДК в раститель- ном сырье, мг / кг / TLV in herbage, mg/kg
	№ 8	№ 10	№ 12							
As	0,42	0,61	2,43	1,2 ± 0,6	0,4	2,4	96,3	0,2	600	0,5
Ag	0,001	1,35	0,27	0,54 ± 0,41	0,001	1,35	132,2	0,06	900	
Co	0,210	0,350	0,610	0,39 ± 0,12	0,21	0,61	52,0	0,5	78	
Li	0,370	0,270	0,310	0,32 ± 0,03	0,27	0,37	15,9	0,1	320	
Zr	0,060	0,190	0,270	0,17 ± 0,06	0,06	0,27	61,1	0,64	27	
Bi	0,020	0,100	0,350	0,16 ± 0,10	0,02	0,35	109,9	0,06	267	
Sb	0,210	0,080	0,140	0,14 ± 0,04	0,08	0,21	45,4	0,06	233	
Sn	0,001	0,280	0,100	0,13 ± 0,08	0,00	0,28	111,4	0,3	43	
Cd	0,050	0,020	0,020	0,03 ± 0,01	0,02	0,05	57,7	0,6	5	1,0
W	0,001	0,020	0,001	0,01 ± 0,006	0,001	0,020	149,6	0,07	14	
Be	0,010	0,010	0,020	0,01 ± 0,003	0,010	0,020	43,3	0,1	10	
Se	0,001	0,010	0,010	0,01 ± 0,003	0,001	0,010	74,2	0,2	5	
Hg	0,001	0,001	0,010	0,004 ± 0,003	0,001	0,010	129,9	0,015	27	0,1
V	0,001	0,001	0,001	0,001 ± 0,000	0,001	0,001	0	1,6	0,06	
Cu	0,001	0,001	0,001	0,001 ± 0,000	0,001	0,001	0	14	0,01	

* – (Votkevich, Kokin, 1990)

Обсуждение

Жизненно важные элементы

Макроэлементы. Кальций играет ключевую роль в физиологических и биохимических процессах клетки. Его недостаток приводит организм к остеопорозу и другим физиологическим отклонениям. При недостатке P в организме развиваются различные заболевания костей. Причем усвоение элемента происходит эффективнее при приеме P вместе с Ca в соотношении 3 : 2. Mg необходим на всех этапах синтеза белка. Он участвует в поддержании нормальной функции нервной системы, мышц сердца и других систем организма. Na в высших организмах находится большей частью в межклеточной жидкости клеток. Элемент создает условия для возникновения мембранного потенциала и мышечных сокращений, поддерживает кислотно-щелочной баланс, обеспечивает мембранный транспорт и другие функции организма (Skalny, Rudakov, 2004).

Низкое относительно кларка накопление макроэлементов в растении может свидетельствовать о влиянии почвенного покрова, а также обуславливаться особенностями биохимического состава растения, взаимодействием элементов.

Микроэлементы. Основной функцией железа в организме человека и животных является перенос кислорода и углекислоты (тканевое дыхание). Марганец оказывает влияние на рост, образование крови и функции половых желез. Избыточное накопление Mn в организме сказывается, в первую очередь, на функционировании центральной нервной системы. Цинк участвует в синтезе разных гормонов в организме, включая инсулин, тестостерон, необходим для метаболизма витамина E и других важных функций. Молибден влияет на активность фермента ксантиноксидазы, усиливает синтез аминокислот, улучшает накопление азота. Mo входит в состав ряда ферментов (альдегидоксидаза, сульфитоксидаза, ксантиноксидаза и др.), выполняющих важные физиологические функции. При недостатке Mo страдают анаболические процессы, наблюдается ослабление иммунной системы организма. Хром входит в состав тканей растений и животных. У животных Cr участвует в обмене липидов, белков (входит в состав фермента трипсина), углеводов. Снижение содержания Cr в пище и в крови приводит к уменьшению скорости роста, увеличению холестерина в крови. Кобальт входит в состав витамина B₁₂ (кобаламин), участвует при кроветворении, в функциях нервной системы и печени, ферментативных реакциях. Селен в организме взаимодействует с витаминами, ферментами и биологическими мембранами, участвует в регуляции обмена веществ, в обмене жиров, белков и углеводов, а также в окислительно-восстановительных процессах. Se является составным компонентом более 30 жизненно важных биологически активных соединений организма, входит в активный центр ферментов системы антиоксидантно-антирадикальной защиты организма, метаболизма нуклеиновых кислот, липидов, гормонов. Se является синергистом витамина E и йода. При дефиците Se йод плохо усваивается организмом. Согласно исследованиям, Se необходим для нормального функционирования иммунной системы. Медь встречается в большом количестве ферментов, например в переносимом молекулярный кислород дыхательном пигменте гемоцианине. При недостатке Cu в хондро- и остеобластах снижается активность ферментных систем и за-

медляется белковый обмен, в результате замедляется и нарушается рост костных тканей (Skalny, Rudakov, 2004).

При использовании молочая в качестве лекарственного средства необходимо учитывать относительно высокую концентрацию в растении Fe, Mo и Cr и, напротив, низкое содержание в корнях Zn, Mn, Se и Cu. Полученные результаты позволяют при необходимости корректировать накопление элементов с помощью внесения в почву соответствующих микроудобрений.

Условно жизненно необходимые элементы

Бор играет существенную роль в обмене углеводов и жиров, ряда витаминов и гормонов, влияет на активность некоторых ферментов. При избытке B в организме возможна интоксикация. Никель оказывает влияние на ферментативные процессы, окисление аскорбиновой кислоты. Он может угнетать действие адреналина и снижать артериальное давление. Избыточное поступление Ni в организм происходит в результате бытовых и производственных причин. Физиологическая роль ванадия недостаточно изучена. Полагают, что V участвует в регуляции углеводного обмена и сердечно-сосудистой деятельности, а также в метаболизме тканей костей и зубов. При дефиците V увеличивается риск развития атеросклероза и сахарного диабета. Мышьяк взаимодействует с тиоловыми группами белков, цистеином, глутатионом, липовой кислотой, оказывает влияние на окислительные процессы в митохондриях и принимает участие во многих других важных биохимических процессах. При избытке As в организме наблюдаются заболевания кожи и внутренних органов человека. Избыточное поступление As в организм связано с загрязнением окружающей среды, нарушением регуляции обмена мышьяка в организме, а также с недостатком в организме селена. Литий влияет на нейроэндокринные процессы, жировой и углеводный обмен. В организме Li способствует высвобождению Mg из клеток и тормозит передачу нервного импульса, снижая возбудимость нервной системы (Skalny, Rudakov, 2004).

Молочай Фишера не включен в список официальных лекарственных растений России, однако относительно высокие концентрации в корнях молочая As и Li и низкое содержание B и V необходимо учитывать при использовании растения в качестве лекарственного средства в народной медицине, а также при культивировании для получения лекарственного сырья.

Токсичные микроэлементы

Свинец участвует в обменных процессах костной ткани, является канцерогеном и тератогеном для организма. Избыток Pb в организме связан с загрязнением окружающей среды, а также с дефицитом в организме Ca, Mg, Zn и Fe. Барий оказывает нейротоксическое, кардиотоксическое и гемотоксическое действие на организм человека. Причины избытка Ba в организме происходят за счет производственных и бытовых отравлений. Висмут индуцирует синтез низкомолекулярных белков, принимает участие в процессах оссификации, образует внутриклеточные включения в эпителии почечных канальцев. Возможно, обладает генотоксичными и мутагенными свойствами. При избытке Bi наблюдаются нарушения функционирования нервной и сердечно-сосудистой системы и другие заболевания организма. Физиологическая роль кадмия изучена недостаточно. Доказана роль Cd в индукции рака легких и почек у курящих, развитии

патологии предстательной железы. Избыток Cd в организме связан с курением, производственным контактом, а также дефицитом Zn, Se, Cu, Ca и Fe. Физиологическая роль ртути неясна. Считается, что оптимальная интенсивность поступления Hg в организм составляет 1–5 мкг/день. При хроническом отравлении Hg наблюдаются нарушения деятельности нервной и пищеварительной системы, другие нарушения деятельности организма. Физиологическая роль бериллия недостаточно изучена, однако известно, что Be может принимать участие в регуляции фосфорно-кальциевого обмена, поддержании иммунного статуса организма. По современным представлениям Be – это токсичный, канцерогенный и мутагенный элемент. Физиологическая роль сурьмы недостаточно изучена. Она образует связи с атомами серы, что обуславливает ее высокую токсичность (Skalny, Rudakov, 2004).

Учитывая избыточные по отношению к кларку концентрации Sb, Bi и Ba, необходимо с осторожностью применять лекарственные препараты из этого растения. Низкие концентрации Pb, Cd и Hg по отношению к ПДК свидетельствуют о низком уровне загрязнения почвы на месте произрастания растений и, вероятно, незначительном влиянии элементов на организм человека при использовании растения.

Потенциально токсичные микроэлементы

Физиологическая роль рубидия заключается в его способности ингибировать простагландины и в наличии антигистаминных свойств. Пониженное содержание Rb в организме может приводить к задержке роста и развития, преждевременным родам. При избытке элемента возможны воспаление верхних дыхательных путей, аритмия, нарушение сна. Физиологическая роль циркония малоизучена. Токсичные дозы не установлены. Избыток Zr оказывает общетоксическое действие на организм человека при длительном контакте с этим элементом на производстве. Олово не относится к особо токсичным металлам. И все же при его избытке возникают головокружение, расстройство зрения, тошнота, снижение содержания в организме Zn и Cu. Серебро относят к потенциально-канцерогенным элементам. В организме Ag образует соединения с белками, может блокировать тиоловые группы ферментных систем, угнетать тканевое дыхание. Проявления дефицита Ag в организме изучены недостаточно. Предполагается, что Ag играет важную роль в обеспечении процессов, связанных с высшей нервной деятельностью и функциями периферической нервной системы человека. При избытке Ag наблюдается поражение центральной нервной системы, расстройство зрения, снижение кровяного давления, тошнота. Причины избытка Ag – это поступление его в организм в токсичных дозах. По своим свойствам вольфрам напоминает молибден, способен замещать молибден у животных, ингибируя активность Mo-зависимых ферментов. При длительном контакте с карбидом вольфрама наблюдается нарушение функции легких. При избыточном поступлении в организм стронция на фоне дефицита Ca происходит вытеснение ионов Ca ионами Sr. В результате происходит поражение всего организма, однако наиболее типичным является развитие дистрофических изменений в костно-суставной системе в период роста и развития организма. Заболевания сопровождается нарушением фосфорно-кальциевого соотношения в крови, дисбактериозом кишечника. Титан является одним из наиболее биологически инертных металлов. Вдыхание двуокиси

Ti вызывает раздражение легких у человека и животных (Skalny, Rudakov, 2004).

Избыток в корнях растения потенциально токсичных Ag и Sr может навредить здоровью организма. Опасность для человека других элементов из этой группы, вследствие их относительно низкого накопления в корнях растения, невысокая.

Заключение

Получена ориентировочная оценка концентрации ряда химических элементов в корнях *E. fischeriana*, а также условий произрастания растения в бассейне р. Шилка.

Накопление ряда химических элементов в корнях *E. fischeriana* в бассейне р. Шилка значительно отличалось от кларка наземных растений. В 2–14 раз превышало кларк наземных растений (по убыванию) накопление Ti, Ag, As, Cr, Sr, Li, Ba, Mo, Fe, Bi и Sb. В пределах 25–100% (по убыванию) от кларка находилось содержание Co, Pb, P, Na, Sn, Mg, Ca, Zn, Zr и Hg. Накопление Rb, B, W, и Be находится в пределах 10–25%. Значительно меньше кларка (от 0.01 до 5%) отмечена концентрация в корнях *E. fischeriana* Mn, Cd, Se, особенно V и Cu.

Ниже кларка находится концентрация жизненно необходимых макроэлементов Ca, P, Mg, Na, а также микроэлементов Co, Zn, Mn, Se, Cu. Превышало кларк наземных растений накопление в корнях растения токсичных элементов Sb, Bi и Ba.

Различия концентрации элементов в корнях *E. fischeriana* по отношению к кларку наземных растений свидетельствуют о геохимических особенностях почвы в местах произрастания и физиологических свойствах растения, связанных с накоплением химических элементов.

Предельно допустимое содержание As, установленное для лекарственного и растительного сырья и лекарственных растительных препаратов, превышало ПДК на пробных площадях в 1,2 и 4,9 раза.

Учитывая относительно высокую концентрацию ряда токсичных элементов в корнях *E. fischeriana*, необходимо с осторожностью использовать его в качестве лекарственного средства. Особенности концентрации токсичных и жизненно важных элементов важно учитывать при организации культивирования растения.

References / Литература

- Choudhury R.P., Acharya R., Nair A.G.C., Reddy A.V.R., Garg A.N. Availability of essential trace elements in medicinal herbs used for diabetes mellitus and their possible correlations. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2008;276(1) 85-93. DOI: 10.1007/s10967-007-0414-8
- Derkach T.M., Starikova O.O. Variation of chemical composition of medicinal herbs of different producers. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2019;27(1):79-91. DOI: 10.15421/091909
- Flora of Central Siberia. Vol. 2. Rosaceae – Asteraceae (Flora Tsentralnoy Sibiri. T. 2. Rozotsvetnye – Astrovye). Novosibirsk; 1979. [in Russian] (Флора Центральной Сибири. Т. 2. Розоцветные – Астровые. Новосибирск; 1979).
- Flora of Siberia. Vol. 10. Geraniaceae – Cornaceae (Flora Sibiri. T. 10. Geraniaceae – Cornaceae). Novosibirsk; 1996. [in Russian] (Флора Сибири. Т. 10. Geraniaceae – Cornaceae. Новосибирск; 1996).
- Garg A., Kumar A., Nair A., Reddy A. Analysis of some Indian medicinal herbs by INAA. *Journal of Radioanalytical and*

- Nuclear Chemistry*. 2007;271(3):611-619. DOI: 10.1007/s10967-007-0316-9
- GOST 26425-85. Soils. Methods for determination of chloride ion in water extract. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294828/4294828013.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINA method. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНА. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294827/4294827946.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST 26487-85. Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by CINA methods. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНА. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827942.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST 26490-85. Soils. Determination of mobile sulfur by CINA method. Moscow: USSR State Committee for Standards; 1985. [in Russian] (ГОСТ 26490-85. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНА. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам; 1985). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827939.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- GOST R 54650-2011. National Standard of the Russian Federation. Soils Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINA. Moscow: Standartinform; 2013. [in Russian] (ГОСТ Р 54650-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНА. Москва: Стандартинформ; 2013). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293788/4293788445.pdf> [дата обращения: 03.03.2022].
- Guidelines for determining the content of mobile fluorine in soils by ionometric technique (Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu soderzhaniya podvizhnogo ftora v pochvakh ionometricheskimi metodami). Moscow; 2003. [in Russian] (Методические указания по определению содержания подвижного фтора в почвах ионометрическим методом. Москва; 1993).
- Jian B., Zhang H., Han C., Liu J. Anti-cancer activities of diterpenoids derived from *Euphorbia fischeriana* Steud. *Molecules*. 2018;23(2):387. DOI: 10.3390/molecules23020387
- Karpova E.A., Khramova E.P. Chemosystematic aspects of the composition and content of flavonoids of some species of the genus *Euphorbia* L. *Turczaninowia*. 2011;14(3):150-159. [in Russian] (Карпова Е.А., Храмова Е.П. Хемосистематические аспекты состава и содержания флавоноидов некоторых видов рода *Euphorbia* L. *Turczaninowia*. 2011;14(3):150-159).
- Khobrakova V.B., Kornopol'tseva T.V., Nikolaev S.M. Immunomodulating properties of *Euphorbia fischeriana* (Euphorbiaceae) roots tincture in experimental immunodepression. *Rastitelnye resursy = Plant Resources*. 2007;43(2):94-98. [in Russian] (Хобракова В.Б., Корнопольцева Т.В., Николаев С.М. Иммуномодулирующие свойства настойки корней *Euphorbia fischeriana* (Euphorbiaceae) при экспериментальной иммунодепрессии. *Растительные ресурсы*. 2007;43(2):94-98).
- Kohan S.T., Krivosheeva E.M. Experimental investigation of antioxidant properties of plant adaptogens. *Vestnik farmatsii = Bulletin of Pharmacy*. 2010;4(50):29. [in Russian] (Кохан С.Т., Кривошеева Е.М. Экспериментальное исследование антиоксидантных свойств растительных адаптогенов. *Вестник фармаци*. 2010;4(50):29).
- Konieczynski P., Arceusz A., Wesolowski M. Essential elements and their relations to phenolic compounds in infusions of medicinal plants acquired from different European regions. *Biological Trace Element Research*. 2016;170(2):466-475. DOI: 10.1007/s12011-015-0481-6
- Konieczynski P., Arceusz A., Wesolowski M. Relationships between flavonoids and selected elements in infusions of medicinal herbs. *Open Chemistry*. 2015;13(1):68-74. DOI: 10.1515/chem-2015-0003
- Konieczynski P., Viapiana A., Lysiuk R., Wesolowski M. Chemical composition of selected commercial herbal remedies in relation to geographical origin and inter-species diversity. *Biological Trace Element Research*. 2018;182(1):169-177. DOI: 10.1007/s12011-017-1078-z
- Konieczynski P., Viapiana A., Wesolowski M. Comparison of infusions from black and green teas (*Camellia sinensis* L. Kuntze) and erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) based on the content of essential elements, secondary metabolites, and antioxidant activity. *Food Analytical Methods*. 2017;10(9):3063-3070. DOI: 10.1007/s12161-017-0872-8
- Kornopol'tseva T.V., Buraeva L.B. Development of an optimal technology for obtaining *Euphorbia fischeriana* tincture (Razrabotka optimalnoy tekhnologii polucheniya nastoyki molochaya Fishera). *Bashkir State University Bulletin*. 2007;8:92-93. [in Russian] (Корнопольцева Т.В., Бураева Л.Б. Разработка оптимальной технологии получения настойки молочая Фишера. *Вестник Бурятского государственного университета*. 2007;8:92-93).
- Krivosheeva E.M., Fefelova E.V., Borodulina I.I., Kohan S.T., Borodulina N.V. Influence of *Euphorbia fischeriana* Steudel extract on dermal wound reparation in experiment. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal = Siberian Medical Journal*. 2013;118(3):69-72. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Фефелова Е.В., Бородулина И.И., Кохан С.Т., Бородулина Н.В. Влияние экстракта молочая Фишера на репарацию кожной раны в эксперименте. *Сибирский медицинский журнал*. 2013;118(3):69-72).
- Krivosheeva E.M., Fefelova E.V., Kohan S.T. Spectrum of pharmacological activity of plant adaptogens. *Fundamental Research*. 2011;(6):85-88. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Фефелова Е.В., Кохан С.Т. Спектр фармакологической активности растительных адаптогенов. *Фундаментальные исследования*. 2011;(6):85-88).
- Krivosheeva E.M., Fefelova E.V., Sepp A.V., Borodulina I.I., Borodulina N.V. Adaptogens' efficiency in experimental periodontitis with hyperhomocysteinemia. *Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2010;3(73):221-225. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Фефелова Е.В., Сепп А.В., Бородулина И.И., Бородулина Н.В. Эффективность адаптогенов при экспериментальном пародонтите на фоне гипергомоцистеинемии. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения*

- Российской академии медицинских наук. 2010;3(73):221-225).
- Krivoshcheyeva E.M., Kokhan S.T., Kukharensko Ju.V., Borodulina I.I., Serdtsev M.I. The effects of Pallas spurge extract on periodontal tissue microcirculation in patients with chronic gingivitis living in Transbaikalia. *Rossiiskii Stomatologicheskii Zhurnal = Russian Dental Journal*. 2009;(3):40-42. [in Russian] (Кривошеева Е.М., Кохан С.Т., Кухаренко Ю.В., Бородулина И.И., Сердцев М.И. Влияние экстракта молочая Палласа на микроциркуляцию тканей пародонта у больных с хроническим гингивитом в условиях Забайкалья. *Российский стоматологический журнал*. 2009;(3):40-42).
- Li Y.N., He J., Zhang J., Shi Y.X., Guo L.B., Peng Z.C. et al. Existing knowledge on *Euphorbia fischeriana* Steud. (Euphorbiaceae): Traditional uses, clinical applications, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021;275:114095. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114095
- Martynov A.M., Chuparina E.V., Dargaeva T.D. Study of phenolic compounds and mineral composition of underground organs of *Euphorbia fischeriana* Steud. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2022;(1):269-276. [in Russian] (Мартынов А.М., Чупарина Е.В., Даргаева Т.Д. Исследование фенольных соединений и элементного состава подземных органов *Euphorbia fischeriana* Steud. *Химия растительного сырья*. 2022;(1):269-276). DOI: 10.14258/jcrpm.2022019135
- M-MVI-80-2008. Method of performing measurements of the mass fraction of elements in samples of soils and earth samples and bottom sediments by atomic emission and atomic absorption spectrometry (Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli elementov v probakh pochv, gruntov i donnykh otlozheniyakh metodami atomno-emissionnoy i atomno-absorbtsionnoy spektrometrii). St. Petersburg; 2008. [in Russian] (М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. Санкт-Петербург; 2008). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293824/4293824289.pdf> [дата обращения: 10.03.2022].
- OFS.1.5.3.0009.15. Determination of the content of heavy metals and arsenic in medicinal herbal raw materials and medicinal herbal preparations. Moscow; 2015. [in Russian] (ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Москва; 2015). URL: <http://pharmacopoeia.ru/wp-content/uploads/2016/08/OFS.1.5.3.0009.15-Opre-delenie-soderzhaniya-tyazhelykh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitel'nom-syre-i-lekarstvennykh-rastitel'nykh-preparatah.pdf> [дата обращения: 22.03.2022].
- PND F 16.1:2.2.2.3.48-06. Quantitative chemical analysis of soil samples, greenhouse soils, silts, bottom sediments, sapropels, and solid waste. The method of measuring mass concentrations of zinc, cadmium, lead, copper, manganese, arsenic, and mercury by inversion voltammetry on TA-type analyzers (Kolichestvennyy khimicheskiy analiz prob pochv, teplichnykh gruntov, ilov, donnykh otlozheniy, sapropel'ey, tverdykh otkhodov. Metodika vypolneniya izmereniy massovykh kontsentratsiy tsinka, kadmiya, svintsy, medi, margantsy, myshyaka, rtuti metodom inversionnoy voltamperometrii na analizatorakh tipa TA). Tomsk: Tomsk Center for Standardization, Metrology and Certification; 2006. [in Russian] (ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.48-06. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. Томск: Томский центр стандартизации, метрологии и сертификации; 2006). URL <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293790/4293790181.pdf> [дата обращения: 22.03.2022].
- PND F 16.1:2.2.2.80-2013. Quantitative chemical analysis of soils. Method of measuring the mass fraction of mobile forms of metals: copper, zinc, lead, cadmium, manganese, nickel, cobalt, chromium in samples of soil, earth, bottom sediments, and sewage sludge by flame atomic adsorption spectrometry (Kolichestvennyy khimicheskiy analiz pochv. Metodika izmereniy massovoy doli podvizhnykh form metallov: medi, tsinka, svintsy, kadmiya, margantsy, nikel'ya, kobalta, khroma v probakh pochv, gruntov, donnykh otlozheniy, osadkov stochnykh vod metodom plamennoy atomno-absorbtsionnoy spektrometrii). Moscow: Federal Service for Supervision in the Field of Environmental Management; 2013. [in Russian] (ПНД Ф 16.1:2.2.2.80-2013. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли подвижных форм металлов: меди, цинка, свинца, кадмия, марганца, никеля, кобальта, хрома в пробах почв, грунтов, донных отложений, осадков сточных вод методом пламенной атомно-адсорбционной спектроскопии. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; 2013). URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293779/4293779519.pdf> [дата обращения: 22.03.2022].
- PND F 16.1:2.3.3.11-98. Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring metal content in solid objects by inductively coupled plasma spectrometry (Metodika vypolneniya izmereniy sodержaniya metallov v tverdykh ob'yektakh metodom spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy). Moscow: State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection; 1998. [in Russian] (ПНД Ф 16.1:2.3.3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Москва: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды; 1998). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293777/4293777593.htm> [дата обращения: 03.03.2022].
- Popov O.A. (ed.). Red Book of the Transbaikalian Region: Plants (Krasnaya kniga Zabaykalskogo kraya: Rasteniy). Novosibirsk; 2017. [in Russian] (Красная книга Забайкальского края: Растения / под ред. О.А. Попова. Новосибирск; 2017).
- Popov P.L. Plant species, using against viral infections of man and animals: regularities of the distribution in the phylogenetic classification system. *Journal of Stress-Physiology and Biochemistry*. 2008;4(3-4):17-64. [in Russian] (Попов П.Л. Виды растений, применявшиеся при вирусных болезнях человека и животных: закономерности распределения в филогенетической классификационной системе. *Журнал стресс-физиологии и биохимии*. 2008;4(3-4):17-64).
- RD 52.18.289 – 90. Guiding document. Guidelines. Methodology for measuring the mass fraction of mobile forms of met-

- als (copper, lead, zinc, nickel, cadmium, cobalt, chromium, and manganese) in soil samples by atomic absorption analysis (Rukovodyashchiy dokument. Metodicheskiye ukazaniya. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli podvizhnykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikel'ya, kadmiya, kobalta, khroma, margantsa) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom). Moscow: USSR State Committee for Hydrometeorology; 1990. [in Russian] (РД 52.18.289-90. Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Москва: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии; 1990). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293783/4293783539.pdf> [дата обращения: 21.03.2022].
- Skalny A.V., Rudakov I.A. Bioelements in medicine (Bioelementy v meditsine). Moscow; 2004. [in Russian] (Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. Москва; 2004).
- Sun Y.X., Liu J.C. Chemical constituents and biological activities of *Euphorbia fischeriana* Steud. *Chemistry and Biodiversity*. 2011;8(7):1205-1214. DOI: 10.1002/cbdv.201000115
- Telyatyev V.V. Healing treasures of Eastern Siberia (Tselebnyye klady Vostochnoy Sibiri). Irkutsk; 1976. [in Russian] (Телятьев В.В. Целебные клады Восточной Сибири. Иркутск; 1976).
- Threshold limit values (TLV) of chemical substances in soil: Hygienic standards (Predelno dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigiyenicheskiye normativy). Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2006. [in Russian] (Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2006). URL: https://geotop.msk.ru/library_docs/Ecologicheskie_iziskania/GN_po_ekologicheskim_iziskaniyam/predelno_dopustymie_vrednykh_veshchestv.pdf [дата обращения: 03.03.2022].
- Votkevich G.V., Kokin A.V. Handbook of geochemistry (Spravochnik po geokhimii). Moscow; 1990. [in Russian] (Воткевич Г.В., Кокин А.В. Справочник по геохимии. Москва; 1990).

Информация об авторе

Владимир Петрович Макаров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, 672014 Россия, Чита, ул. Недорезова, 16а, vm2853@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4885-0752>

Information about the author

Vladimir P. Makarov, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 16a Nedorezova St, Chita 672014, Russia, vm2853@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4885-0752>

Статья поступила в редакцию 24.03.2022; одобрена после рецензирования 08.07.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 24.03.2022; approved after reviewing on 08.07.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Морфологические и хозяйственные признаки сортов озимой ржи в связи с устойчивостью к полеганию

Н. А. Набатова, Е. С. Парфенова, Е. И. Уткина, М. Г. Шамова, Е. А. Псарева, М. Н. Жукова

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Сергеевна Парфенова, elka1745@yandex.ru

Актуальность. Устойчивость к полеганию озимой ржи связана с морфологическими признаками стебля. В селекции неполегающих продуктивных сортов для поиска исходного материала необходимо изучить сортовое фенотипическое разнообразие по морфологическим признакам соломины, влияющим на устойчивость к полеганию и продуктивность колоса.

Материалы и методы. Экспериментальная работа проведена в 2017–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров). Оценивали полевую устойчивость к полеганию, морфологические признаки соломины, урожайность, продуктивность колоса у 16 сортов озимой ржи. Изучение сортов проводили в соответствии с Международным классификатором рода *Secale* L. и Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. В лабораторных условиях у 10 растений каждого сорта определяли массу отрезков вторых нижних междоузлий.

Результаты и выводы. Установлены отрицательные корреляции устойчивости к полеганию с длиной соломины ($r = -0,55$) и массой второго нижнего междоузлия ($r = -0,65$). Продуктивность колоса сортов ржи достоверно связана с толщиной стенки ($r = 0,52$) и длиной второго нижнего междоузлия ($r = -0,52$). По результатам путевого анализа основными причинами снижения устойчивости к полеганию были масса отрезка ($P = -0,467$) и длина второго нижнего междоузлия ($P = -0,408$); причиной повышения устойчивости была толщина стенки второго нижнего междоузлия ($P = 0,424$). Сорта достоверно различались по устойчивости к полеганию ($HSP_{05} = 0,8$). Выделены сорта 'Московская 12', 'Татьяна', 'Былина', 'Янтарная', предлагаемые в качестве исходного материала для селекции на устойчивость к полеганию.

Ключевые слова: селекция, корреляция, соломина, междоузлие, длина, масса, отрезок, продуктивность, колос

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР № FSZS-2019-0095 «Разработка и внедрение фундаментальных научных инновационных подходов, ориентированных на изучение и использование разнообразия генетических ресурсов, создание адаптивных генисточников озимой ржи с комплексным сочетанием улучшенных параметров селекционно ценных признаков; на создание сортов озимой ржи северного экотипа целевого использования с повышенной зимостойкостью, стабильной продуктивностью, устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам; на разработку технологии производства современных сортов для повышения эффективности использования их продуктивного потенциала с учетом изменения климатических условий и нарастания фитопатогенной нагрузки для укрепления продовольственной безопасности страны и создания продуктов здорового питания».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Набатова Н.А., Парфенова Е.С., Уткина Е.И., Шамова М.Г., Псарева Е.А., Жукова М.Н. Морфологические и хозяйственные признаки сортов озимой ржи в связи с устойчивостью к полеганию. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):73-87. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-73-87

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-73-87

Morphological and agronomic characteristics of winter rye cultivars in connection with their resistance to lodging

Nataliya A. Nabatova, Elena S. Parfenova, Elena I. Utkina, Marina G. Shamova, Ekaterina A. Psareva, Mariya N. Zhukova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Corresponding author: Elena S. Parfenova, elka1745@yandex.ru

Background. Lodging resistance of winter rye is associated with morphological features of the stem. Searching for source material to breed non-lodging high-yielding cultivars requires studying the varietal phenotypic diversity according to morphological characters of the stem that affect the resistance to lodging and the productivity of the ear.

Materials and methods. Experiments were carried out in 2017–2020 at the Federal Agricultural Research Center of the North-East (FARC North-East), Kirov. Field resistance to lodging, morphological characteristics of the stem, yield, and ear productivity were evaluated in 16 winter rye cultivars. The study was based on the International COMECON List of Descriptors for the Genus *Secale* L., and Methodology for the State Variety Trials of Agricultural Crops. The weight of segments of the second lower internodes was measured in 10 plants of each cultivar under laboratory conditions.

Results and conclusions. Negative correlations of lodging resistance with stem length ($r = -0.55$) and the weight of the second lower internode ($r = -0.65$) were revealed. Ear productivity of rye cultivars was significantly associated with the wall thickness ($r = 0.52$) and the length of the second lower internode ($r = -0.52$). According to the results of the path analysis, the main causes of a decrease in lodging resistance were the weight of the segment ($P = -0.467$) and the length of the second lower internode ($P = -0.408$), while an increase was connected with the wall thickness of the second lower internode ($P = 0.424$). The cultivars differed significantly in their resistance to lodging ($LSD_{05} = 0.8$). Cvs. 'Moskovskaya 12', 'Tatyana', 'Bylina' and 'Yantarnaya' were identified; they are recommended as source material for breeding for lodging resistance.

Keywords: breeding, correlation, stem, internode, length, weight, segment, productivity, ear

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the State Task, research theme No. FSZS-2019-0095 "Development and implementation of fundamental scientific innovative approaches focused on the study and use of the diversity of genetic resources, generation of adaptable genetic sources of winter rye with a complex combination of improved parameters of traits valuable for breeding; on the development of winter rye cultivars of the northern ecotype for targeted use with increased winter hardiness, stable productivity, resistance to biotic and abiotic stressors; on the development of a technology for the production of modern cultivars to improve the efficiency of implementing their productive potential, taking into account changes in climatic conditions and an increase in phytopathogenic pressure to strengthen the country's food security and release healthy food products".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Nabatova N.A., Parfenova E.S., Utkina E.I., Shamova M.G., Psareva E.A., Zhukova M.N. Morphological and agronomic characteristics of winter rye cultivars in connection with their resistance to lodging. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):73-87. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-73-87

Введение

Озимая рожь (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) как высокорослая культура склонна к полеганию. Потери урожая ржи при механизированной уборке полегших посевов достигают 50%, биологический урожай снижается до 20%. Повышение устойчивости озимой ржи к полеганию способствует более полной реализации потенциала ее продуктивности (Kobylyansky et al., 1989; Chaikin et al., 2013). Негативным последствием полегания озимой ржи является ухудшение посевных качеств семян, хлебопекарных и технологических свойств зерна. Недобор урожая озимой ржи зависит от фазы развития растений при наступлении полегания. По данным С. Ф. Тихвинского и Л. К. Буториной (Tikhvinsky, Butorina, 1983), при полегании в фазу колошения отмечено уменьшение озерненности колоса, снижение массы 1000 зерен (на 20–25%) и продуктивной кустистости. Наиболее опасно полегание в фазу цветения, когда резко снижается завязываемость зерна: потери урожая могут достигать 70%. Полегание растений в период «молочная – восковая спелость» вызывает снижение урожая до 15–18%. Часто встречающееся полегание в период созревания зерна в меньшей степени отражается на структуре урожая. При полегании в эту фазу снижается в основном масса 1000 зерен (Tikhvinsky, Butorina, 1983; Rovdo, Artsiukh, 2021). Устойчивость растений ржи к полеганию значительно зависит от высоты стебля, его морфологических и анатомических особенностей. Изучение связи устойчивости к полеганию с анатомо-морфологическими особенностями стебля и хозяйственными признаками представляет определенный интерес для озимой ржи и других зерновых культур (Lukyanova, 2008; Torop et al., 2011; Zakharov et al., 2014; Griguletskiy, 2019; Zaytseva, Shchennikova, 2020).

Повышение устойчивости к полеганию ржи только за счет укорочения стебля сопряжено с риском снижения урожайности (Goncharenko et al., 1990; Chaikin et al., 2021). В работе А. А. Гончаренко с соавторами (Goncharenko et al., 1990) показано, что отбор на снижение высоты растений (то есть в минус-направлении) без существенного снижения урожайности возможен только для материала с рецессивным типом короткостебельности, поэтому большое значение имеет селекционное улучшение популяций при отборе на высокую прочность стебля. Определенное значение для селекции на устойчивость растений ржи к полеганию имеют количественные признаки второго от корня междоузлия – длина, масса, диаметр, толщина стенки, которые напрямую показывают степень развития механических тканей стебля и косвенно характеризуют устойчивость растений к полеганию (Kobylyansky et al., 1989; Torop et al., 2011). Проведенные Wójtowicz et al. (2020) микроскопические наблюдения свидетельствуют о значительной механической прочности у второго нижнего междоузлия стебля ржи за счет диаметра и толщины стенки, что имеет большое значение для стабилизации надземной части растения. По мнению М. Л. Пономаревой, С. Н. Пономарева (Ponomareva, Ponomarev, 2004), устойчивость к полеганию возрастает при уменьшении нагрузки на нижнее междоузлие. Установлена положительная связь устойчивости ржи к полеганию с толщиной склеренхимы (Muszynska et al., 2021) и толщиной стенки второго нижнего междоузлия (Ponomareva, Ponomarev, 2004; Muszynska et al., 2021; Zuo et al., 2021); массой (Ponomareva, Ponomarev, 2004) и диаметром второго нижнего междоузлия (Ponomareva, Ponomarev, 2004; Zuo et al., 2021). В работе Zuo et al. (2021) вы-

явлена отрицательная корреляция между устойчивостью ржи к полеганию и длиной первого и второго нижних междоузлий стебля. Показатели диаметра и толщины стенки второго нижнего междоузлия предложены (Ponomareva, Ponomarev, 2004) как критерии для оценки устойчивости растений к полеганию, а удельная масса соломины – как косвенный показатель устойчивости к полеганию. В селекции ржи на повышение устойчивости к полеганию рекомендован (Ponomareva, Ponomarev, 2004) многократный отбор по прочности стебля на излом (независимо от генетического контроля высоты растений), а также по массе или диаметру второго нижнего междоузлия.

Устойчивость к полеганию оценивают прямым методом визуальной оценки в полевых условиях, а также косвенными методами. Лабораторные методы оценки устойчивости (сопротивление стебля на излом, скорость склерификации клеточных стенок) требуют использования при анализе различного оборудования и реактивов (Teteryatchenko, 1984). Практический интерес представляет «Способ отбора устойчивых к полеганию форм зерновых колосовых злаков» (Torop et al., 2008), заключающийся в определении массы одинаковых по длине отрезков нижних междоузлий и отборе растений с максимальной массой отрезка как устойчивых к полеганию и высокопродуктивных (Torop et al., 2011). Отбор по морфологическим признакам соломины может сократить затраты и упростить процесс селекции в этом направлении (Teteryatchenko, 1984; Torop et al., 2020).

Для создания неполегающих и высокоурожайных сортов озимой ржи необходим исходный материал с наследственно обусловленной высокой устойчивостью к полеганию в сочетании с высокой продуктивностью и приспособленностью к агроклиматическим условиям региона (Kedrova et al., 2012). Селекционные сорта озимой ржи представляют определенный интерес как исходный материал благодаря разнообразию ценных признаков и свойств (Ivanov, 1961). Для оценки этих сортов на пригодность в качестве исходного материала для селекции необходимо их изучение по устойчивости к полеганию, хозяйственным и морфологическим признакам.

Цель исследования состояла в установлении влияния морфологических признаков соломины на устойчивость к полеганию и продуктивность колоса сортов озимой ржи.

Материалы и методы

Полевое изучение сортов проходило на опытном поле Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров) в 2017–2020 гг. Объектом исследования служили 16 сортов озимой ржи (*S. cereale* L. var. *vulgare* Koern.) (таблица 1). По срокам созревания сорта относятся к среднеспелой ('Московская 12', 'Былина', 'Таловская 33', 'Саратовская 7', 'Памяти Бамбышева'), среднепоздней ('Вятка 2', 'Фаленская 4', 'Татьяна', 'Паром', 'Антарес', 'Безенчукская 87', 'Роксана') и позднеспелой группе ('Янтарная', 'Памяти Кунакбаева', 'Чулпан 7'). Сорта 'Вятка 2', 'Московская 12', 'Саратовская 7', 'Антарес', 'Памяти Бамбышева', 'Безенчукская 87', 'Былина' имеют рецессивный генетический контроль длины стебля; сорта 'Фаленская 4', 'Татьяна', 'Чулпан 7', 'Роксана', 'Паром', 'Янтарная', 'Таловская 33' имеют доминантный генетический контроль длины стебля. Учетная площадь делянки – 5 м², повторность опыта 2-кратная, коэффициент высе-

Таблица 1. Сортимент озимой ржи для изучения
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)**Table 1. Winter rye cultivars included in the study**
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Учреждение-заявитель / Applicant institution	Сорта / Cultivars	Регионы допуска / Regions of approval
ФАНЦ Северо-Востока / FARC North-East	Вятка 2 / Vyatka 2	Северный / Northern, Северо-Западный / Northwestern, Волго-Вятский / Volga-Vyatka
	Фаленская 4 / Falenskaya 4	Северный / Northern, Северо-Западный / Northwestern, Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Центральный / Central
ФИЦ «Немчиновка» / Nemchinovka FRC	Московская 12 / Moskovskaya 12	Северо-Западный / Northwestern, Центральный / Central, Центрально-Черноземный / Central Black Earth
	Татьяна / Tatyana	Северо-Западный / Northwestern, Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Центральный / Central, Средневолжский / Middle Volga
Уральский НИИСХ / Ural Research Institute of Agriculture	Паром / Parom, Алиса / Alisa, Янтарная / Yantarnaya	Волго-Вятский / Volga-Vyatka
Ленинградский НИИСХ / Leningrad Research Institute of Agriculture	Былина / Bylina	Северо-Западный / Northwestern
НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева / V.V. Dokuchaev Research Institute of Agriculture	Таловская 33 / Talovskaya 33	Центральный / Central, Центрально-Черноземный / Central Black Earth, Средневолжский / Middle Volga
Башкирский НИИСХ / Bashkir Research Institute of Agriculture	Памяти Кунакбаева / Pamyati Kunakbayeva	Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Средневолжский / Middle Volga
	Чулпан 7 / Chulpan 7	Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Уральский / Ural, Западно- Сибирский / West Siberian
НИИСХ Юго-Востока / Research Institute of Agriculture of the South- East	Саратовская 7 / Saratovskaya 7	Центрально-Черноземный / Central Black Earth, Уральский / Ural, Средневолжский / Middle Volga, Нижневолжский / Lower Volga
	Памяти Бамбышева / Pamyati Bambysheva	Средневолжский / Middle Volga, Нижневолжский / Lower Volga
Самарский НИИСХ / Samara Research Institute of Agriculture	Антаpec / Antares	Средневолжский / Middle Volga
	Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Центрально-Черноземный / Central Black Earth, Средневолжский / Middle Volga
	Роксана / Roksana	Средневолжский / Middle Volga

ва – 6 млн всхожих семян на 1 га, посев рядовой с междурядьями 15 см.

Оценки и учет урожая проводили согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Fedin, 1985), Международному классификатору рода *Secale* L. (International COMECON..., 1984). Устойчивость к стеблевому полеганию определяли однократно перед уборкой путем визуальной оценки в полевых условиях (в каждом повторении). Использовали пятибалльную шкалу согласно методике (Fedin, 1985), где неполегающие сорта получают оценку 5 баллов; сорта, выпрямившиеся после полегания или полегшие в слабой степени – 4 балла; сорта, полегшие в средней степени – 3 балла; сорта, сильно полегшие, затрудняющие механизированную уборку – 2 балла; сорта, сильно полегшие задолго до уборки и непригодные к механизированной

уборке – 1 балл. Сорта с оценкой 3,6 балла (то есть округленно 4 балла) и более отнесены нами условно к группе устойчивых к полеганию; сорта с оценкой 3,5 балла и менее (то есть округленно 3 балла) – к группе слабоустойчивых сортов, полегающих в средней и сильной степени. В фазу созревания после уборки у 10 растений каждого сорта в лабораторных условиях выполняли подсчет и взвешивание зерна с главного колоса, измерение длины соломины, определение признаков второго нижнего междоузлия (длина, масса, толщина стенки, наружный диаметр). Определяли массу отрезка 1 см второго нижнего междоузлия, используемого в качестве косвенного показателя степени развития механических и проводящих тканей соломины (ее плотности), согласно методике Е. А. Тороп с соавторами (Torop et al., 2008). Толщину стенки и наружный диаметр междоузлия измеряли меха-

ническим штангенциркулем. Междоузлия взвешивали на весах ВЛКТ-500, их отрезки – на аналитических весах Gibertini Elettronica S.R.L. Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного однофакторного (определение достоверности различий по НСР), корреляционно-регрессионного (определение коэффициентов корреляции Пирсона и коэффициентов регрессии), путевого анализа (определение путевых коэффициентов R) с использованием программ AGROS 2.07, MS Excel Office 2019. Путевой анализ, позволяющий разложить корреляцию зависимой переменной (устойчивости к полеганию) с каждой независимой переменной (морфологическими признаками соломины) на прямой и косвенные эффекты признака, проводили по методу S. Wright (1921), изложенному в руководстве пользователя программы AGROS версии 2.07. Коэффициент вариации (CV), характеризующий фенотипическую изменчивость признаков, рассчитывали как отношение среднего квадратического отклонения к средней арифметической, выраженное в процентах (CV менее 10% – слабая изменчивость, 10–20% – средняя, более 20% – сильная изменчивость).

Опытный участок расположен в центральной агроклиматической зоне Кировской области с достаточной для выращивания озимой ржи обеспеченностью влагой и теплом (сумма осадков в среднем за год составляет 500–680 мм, сумма среднесуточных температур выше 10°C 1700–1900°C). Рельеф опытного участка равнинный, почва дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая, $pH_{\text{сод}} = 4,0$ ед., содержание гумуса составляет 1,37%, фосфора – 190 мг/100 г почвы, калия – 221 мг/100 г почвы. Погодные условия 2017–2020 гг. отличались неустойчивой динамикой (табл. 2). В связи с отклонениями от климатической нормы отмечали смещение фаз развития ржи на 12–20 дней позднее среднесезонных сроков в 2017 г. (недостаток тепла в период «кущение – колошение» в мае-июне), в 2018 г. (повторное образование снежного покрова высотой до 35 см в третьей декаде апреля), в 2019 г. (недостаток тепла в июле в период созревания

зерна). В различных агрометеорологических условиях устойчивость к полеганию и длина соломины ржи варьировали. Вегетационный период 2017 г. характеризовался избыточным увлажнением в мае и июне, что способствовало росту растений в высоту и провоцировало полегание. В 2018 и 2019 г., в условиях недостатка влаги в мае и тепла в июне, средняя длина соломины снижалась, при этом устойчивость к полеганию изменилась незначительно. Погодные условия 2020 г. были наиболее близкими к оптимальным для роста и развития растений за период исследований; фенологические фазы ржи отмечали в сроки, близкие к среднесезонным. При этом устойчивость к полеганию была наибольшей (3,9 балла).

Результаты и обсуждение

Для хозяйственных и морфологических признаков сортов была характерна значительная фенотипическая изменчивость, определенная по коэффициенту вариации среднего значения за период изучения (табл. 3). Среди морфологических признаков наименее изменчивыми были масса отрезка и диаметр второго нижнего междоузлия (CV = 11–12%). Также средняя изменчивость отмечена для устойчивости к полеганию, массы зерна с колоса и урожайности (CV составил 13, 15 и 17% соответственно). Высокоизменчивыми в разных условиях выращивания были длина соломины, а также длина, масса и толщина стенки второго нижнего междоузлия (CV = 21–30%).

В годы, различные по метеоусловиям периода вегетации, изменялся и характер корреляции между признаками. Среди морфологических признаков ржи длина соломины является неоднозначным признаком, так как может влиять на полегание, а также на продуктивность колоса, поскольку, по данным В. В. Чайкина с соавторами (Chaikin et al., 2021), стебель сортов ржи традиционного морфотипа имеет важное значение для фотосинтеза и обеспечения колоса метаболитами. В свою очередь, продуктивность колоса является элементом структуры

Таблица 2. Агрометеорологические условия выращивания сортов
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 2. Agrometeorological conditions in the cultivation area
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Год / Year	Среднесуточная температура воздуха, °C / Mean daily air temperature, °C			Сумма осадков за месяц, мм / Monthly rainfall, mm		
	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Май / May	Июнь / June	Июль / July
2017	7,6	13,5	17,6	55,7	88,8	159,0
	–3,7	–2,9	–1,3	96	103	175
2018	11,6	14,1	20,6	35,1	85,5	113,4
	0,3	–2,3	1,7	61	99	125
2019	13,6	15,9	16,0	37,8	98,0	56,7
	2,3	–0,5	–2,9	65	114	62
2020	12,2	15,1	20,5	88,8	64,5	100,1
	0,9	–1,3	1,6	153	75	110

Примечание: верхняя строка – значение, нижняя – отклонение от нормы в градусах для температуры и в % для суммы осадков
Note: the top line is the value, and the bottom line is the deviation from the norm in °C for the temperature and in % for the rainfall
(<http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=27199&month=10&year=2021>)

Таблица 3. Фенотипическая изменчивость признаков сортов (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)
Table 3. Phenotypic variability of characters in the cultivars (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Годы / Years	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, score	Длина, см / Length, cm		Масса, г / Weight, g			Диаметр междузлия, мм / Internode diameter, mm	Толщина стенки междузлия, мм / Internode wall thickness, mm
			Соломинки / Stem	Междузлия / Internode	Междузлия / Internode	Отрезка междузлия / Internode segment	Зерна с колоса / Grain per ear		
2017	3,2 ± 0,2	3,0 ± 0,2	145 ± 2,1	8,3 ± 0,5	0,22 ± 0,01	0,027 ± 0,002	1,35 ± 0,08	3,81 ± 0,07	-
2018	2,4 ± 0,3	3,8 ± 0,1	103 ± 3,4	4,8 ± 0,2	0,11 ± 0,01	-	1,99 ± 0,05	3,03 ± 0,05	0,53 ± 0,04
2019	2,2 ± 0,3	3,1 ± 0,2	93 ± 3,4	8,2 ± 0,3	0,19 ± 0,01	0,022 ± 0,001	1,75 ± 0,10	3,03 ± 0,09	0,31 ± 0,01
2020	2,5 ± 0,1	3,9 ± 0,2	129 ± 3,4	9,2 ± 0,5	0,21 ± 0,01	0,024 ± 0,001	1,77 ± 0,05	3,67 ± 0,10	0,34 ± 0,01
Среднее / Mean	2,6 ± 0,11	3,5 ± 0,2	118 ± 12,0	7,6 ± 1,0	0,18 ± 0,02	0,024 ± 0,002	1,72 ± 0,27	3,39 ± 0,21	0,39 ± 0,07
CV, %	17	13	21	25	27	11	15	12	30

Примечание: среднее за год ± ошибка среднего

Note: mean for the year ± error of the mean

урожая ржи. Однако в нашем исследовании не выявлено достоверной связи между длиной соломины и массой зерна с колоса (вероятно, с связи с особенностью выборки, состоящей из сортов с разным морфотипом, обусловленным различным генетическим контролем длины стебля). При этом в отдельные годы установлена достоверная связь между урожайностью, длиной соломины, устойчивостью к полеганию, а также между устойчивостью к полеганию и длиной соломины. Длина соломины была достоверно связана с урожайностью в большинстве лет опыта. Наибольшая урожайность получена в 2017 г. при максимальной средней длине соломины. В целом характер связи между урожайностью и длиной соломины зависел от величины признака длины соломины (табл. 4).

сены 'Московская 12', 'Татьяна', 'Фаленская 4', 'Янтарная', 'Былина', 'Паром', 'Роксана' (их различия с сортом 'Московская 12' недостоверны). Слабоустойчивыми к полеганию были сорта 'Саратовская 7', 'Таловская 33', 'Памяти Кунакбаева', 'Алиса', 'Чулпан 7', 'Памяти Бамбышева', 'Вятка 2', 'Безенчукская 87', 'Антарес', которые показали достоверно меньшую устойчивость к полеганию (3,5 балла и менее) по сравнению с сортом 'Московская 12'. Устойчивые к полеганию сорта достоверно превосходили слабоустойчивые в среднем на 0,7 балла ($t_{\text{факт}} = 5,70 > t_{05} = 2,15$ при 14 степенях свободы).

Межгодовая изменчивость устойчивости к полеганию, определенная у каждого сорта как коэффициент вариации устойчивости к полеганию по годам, находилась в широких пределах (8–35%). Слабоустойчивые сорта

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между урожайностью, устойчивостью к полеганию, длиной соломины
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 4. Correlation coefficients between yield, lodging resistance, and stem length
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Годы / Years	2017	2018	2019	2020
Урожайность / Yield				
Длина соломины / Stem length	-0,61*	0,60*	0,72*	-0,34
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	0,41	0,01	0,71*	0,26
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance				
Длина соломины / Stem length	-0,51*	-0,29	0,32	-0,80*

Примечание: * – значимо на 5-процентном уровне; число наблюдений: 16

Note: * – statistically significant at the 5% level; number of observations: 16

При уменьшении длины соломины связь положительная (2018, 2019 г.), при увеличении – отрицательная (2017, 2020 г.). Это связано с полеганием сортов, что подтверждает достоверная корреляция между устойчивостью к полеганию и длиной соломины в 2017 и 2020 г. При уменьшении длины соломины связь с устойчивостью к полеганию была недостоверной. Корреляция между устойчивостью к полеганию и урожайностью зерна была недостоверной в 2017, 2018, 2020 г. и статистически значимой в неблагоприятных условиях вегетации 2019 г. (засушливый май, дождливый прохладный июнь), когда урожайность и длина соломины были минимальными. Вероятно, влияние устойчивости к полеганию на урожайность сильнее проявилось в неблагоприятных условиях вегетации; кроме того, устойчивость к полеганию не является единственным фактором, определяющим урожайность сортов в период изучения. Таким образом, увеличение длины соломины влияет на урожайность, однако сопряжено со снижением устойчивости к полеганию. При этом низкая устойчивость к полеганию отмечена в годы с разной длиной соломины (см. табл. 3), что указывает на наличие не учитываемых в данном опыте факторов, влияющих на устойчивость к полеганию.

Сорта достоверно различались по устойчивости к полеганию, длине соломины, толщине стенки второго нижнего междоузлия (табл. 5).

Сорт 'Московская 12' (4,3 балла) отличался высокой оценкой устойчивости к полеганию относительно среднего по опыту. К сортам, устойчивым к полеганию, отне-

в основном отличались нестабильностью показателя ($CV = 22-35\%$), кроме сорта 'Алиса' ($CV = 9\%$). Среди устойчивых сорт 'Роксана' отличался сильной межгодовой изменчивостью признака ($CV = 23\%$).

Большинство сортов относились к группе полукороткостебельных (длина соломины – 110–130 см). К группе короткостебельных (90–110 см) отнесены сорта 'Татьяна', 'Саратовская 7', 'Московская 12' с достоверно низким значением длины соломины. Полукороткостебельные сорта 'Антарес' и 'Безенчукская 87' были также слабоустойчивыми к полеганию, как и длинностебельный сорт 'Вятка 2', при достоверных различиях по длине соломины. Таким образом, короткая соломина не является единственным условием устойчивости ржи к полеганию.

Необходимо оценивать морфологические признаки второго нижнего междоузлия. По длине, массе отрезка, диаметру второго нижнего междоузлия сортовые различия находились в пределах ошибки опыта (как между средними групп, так и в целом по выборке). Устойчивые сорта имели достоверно меньшую массу второго нижнего междоузлия (в среднем на 11%) по сравнению со слабоустойчивыми сортами ($t_{\text{факт}} = 2,30 > t_{05} = 2,15$ при 14 степенях свободы). Также сорта достоверно различались по толщине стенки нижнего междоузлия (в целом по выборке).

Выделены устойчивые к полеганию сорта 'Янтарная' и 'Былина', у которых показатель толщины стенки нижнего междоузлия достоверно выше среднего по опыту (на 49 и 36% соответственно), что косвенно указывает на хорошее развитие механической ткани соломины дан-

Таблица 5. Характеристика сортов озимой ржи по морфологическим признакам соломины и устойчивости к полеганию (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)
Table 5. Description of winter rye cultivars according to morphological characters of the stem and lodging resistance (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Сорт / Cultivar	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance		Длина соломины, см / Stem length, cm	Значения признаков второго нижнего междоузлия / Character values in the second lower internode:				
	Балл / Score	CV, %		длина, см / length, cm	масса, г / weight, g		толщина стенки, мм / wall thickness, mm	
					целого / whole	отрезка 1 см / 1 cm segment		
Устойчивые к полеганию / Resistance to lodging								
Московская 12 / Moskovskaya 12	4,3 ± 0,1*	12	106 ± 13,8*	8,8 ± 1,4	0,17 ± 0,03	0,019 ± 0,003	0,38 ± 0,03	3,24 ± 0,22
Татьяна / Tatyana	4,1 ± 0,2	15	103 ± 11,4*	6,7 ± 1,1	0,15 ± 0,02	0,026 ± 0,003	0,43 ± 0,13	3,31 ± 0,12
Фаленская 4 / Falenskaya 4	3,9 ± 0,2	16	113 ± 9,6	6,2 ± 0,5	0,13 ± 0,02	0,023 ± 0,004	0,32 ± 0,03	3,31 ± 0,29
Янтарная / Yantarnaya	3,9 ± 0,2	16	115 ± 10,9	6,2 ± 0,8	0,17 ± 0,03	0,029 ± 0,003	0,58 ± 0,16*	3,63 ± 0,17
Былина / Bylina	3,8 ± 0,1	8	122 ± 10,3	7,6 ± 1,0	0,18 ± 0,03	0,025 ± 0,003	0,53 ± 0,17*	3,64 ± 0,3
Паром / Parom	3,6 ± 0,1	13	125 ± 10,3	7,7 ± 1,1	0,20 ± 0,03	0,026 ± 0,003	0,40 ± 0,05	3,67 ± 0,25
Роксана / Roksana	3,6 ± 0,2	23	114 ± 12,7	7,7 ± 1,2	0,16 ± 0,02	0,022 ± 0,001	0,39 ± 0,11	3,41 ± 0,22
Среднее по группе / Mean for the group	3,9 ± 0,1	-	114 ± 2,6	7,3 ± 0,3	0,17 ± 0,01	0,024 ± 0,001	0,43 ± 0,03	3,46 ± 0,06
Слабоустойчивые к полеганию / Low resistance to lodging								
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	3,5 ± 0,3	35	104 ± 17,2*	7,7 ± 1,0	0,18 ± 0,02	0,021 ± 0,001	0,38 ± 0,05	3,43 ± 0,33
Таловская 33 / Talovskaya 33	3,4 ± 0,2	22	112 ± 12,6	8,2 ± 1,4	0,18 ± 0,04	0,024 ± 0,000	0,39 ± 0,02	3,52 ± 0,25
Памяти Кунакбаева / Ramyati Kunakbayeva	3,3 ± 0,2	27	121 ± 13,4	7,5 ± 1,0	0,17 ± 0,02	0,022 ± 0,003	0,31 ± 0,07	2,90 ± 0,24
Алиса / Alisa	3,3 ± 0,1	9	123 ± 11,7	6,6 ± 0,7	0,17 ± 0,03	0,027 ± 0,003	0,38 ± 0,05	3,53 ± 0,26
Чулпан 7 / Chulpan 7	3,2 ± 0,2	27	118 ± 12,5	8,6 ± 1,4	0,19 ± 0,02	0,021 ± 0,001	0,34 ± 0,07	3,39 ± 0,19
Памяти Бамбышева / Ramyati Bambysheva	3,2 ± 0,2	25	118 ± 13,2	7,4 ± 0,9	0,21 ± 0,04	0,028 ± 0,004	0,41 ± 0,05	3,41 ± 0,22
Вятка 2 / Vyatka 2	2,9 ± 0,2	22	152 ± 9,3*	7,7 ± 1,7	0,22 ± 0,03	0,027 ± 0,004	0,34 ± 0,07	3,34 ± 0,26

Таблица 5. Окончание
Table 5. The end

Сорт / Cultivar	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance		Длина соломки, см / Stem length, cm	Значения признаков второго нижнего междоузлия / Character values in the second lower internode:				
	Балл / Score	CV, %		длина, см / length, cm	масса, г / weight, g		толщина стенки, мм / wall thickness, mm	
					целого / whole	отрезка 1 см / 1 cm segment		
Слабоустойчивые к полеганию / Low resistance to lodging								
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	2,9 ± 0,2	26	120 ± 14,6	8,1 ± 0,8	0,19 ± 0,03	0,027 ± 0,006	0,36 ± 0,04	3,31 ± 0,35
Антарес / Antares	2,8 ± 0,2	23	115 ± 13,9	9,8 ± 2,1	0,20 ± 0,04	0,018 ± 0,001	0,35 ± 0,06	3,13 ± 0,25
Среднее по группе / Mean for the group	3,2 ± 0,1	–	120 ± 4,4	8,0 ± 0,3	0,19 ± 0,01	0,024 ± 0,001	0,36 ± 0,01	3,33 ± 0,07
Среднее по опыту / Mean for the experiment	3,5 ± 0,2	20	118 ± 12,0	7,6 ± 1,0	0,18 ± 0,02	0,024 ± 0,002	0,39 ± 0,07	3,39 ± 0,21
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,8	–	9,9	NS	NS	NS	0,14	NS

Примечание: * – различия относительно среднего по опыту достоверны при $p < 0,05$; NS – нет достоверных различийNote: * – differences relative to the mean for the experiment are statistically significant at $p < 0,05$; NS – no significant differences

ных сортов. В некоторых работах (Tetryatchenko, 1984; Griguletskiy, 2019) выявлена положительная корреляция между толщиной стенки соломины и устойчивостью к полеганию. В нашем исследовании корреляция между устойчивостью к полеганию и толщиной стенки соломины второго нижнего междоузлия недостоверна.

С помощью корреляционного анализа средних данных за период изучения установлена значимая корреляция устойчивости к полеганию с длиной соломины ($r = -0,55$), а также с массой второго нижнего междоузлия ($r = -0,65$) (таблица 6). Статистически не доказана корреляция устойчивости к полеганию с толщиной стенки второго нижнего междоузлия ($r = 0,45$), его длиной ($r = -0,42$) и диаметром ($r = 0,24$), а также с массой отрезка второго нижнего междоузлия ($r = -0,04$). Длина второго нижнего междоузлия значимо связана с его массой ($r = 0,53$) и массой его отрезка ($r = -0,67$), но практически не связана с длиной соломины ($r = -0,01$). Масса отрезка второго нижнего междоузлия существенно связана с его диаметром ($r = 0,52$). Диаметр второго нижнего междоузлия существенно связан с толщиной его стенок ($r = 0,66$).

Изменчивость устойчивости к полеганию зависела от изменчивости массы второго нижнего междоузлия на 41% и длины соломины на 35% (рисунок).

С помощью регрессионного анализа установлено, что с уменьшением массы второго нижнего междоузлия на

0,1 г устойчивость к полеганию повышалась в среднем на 1,3 балла ($R^2 = 0,411$). Уменьшение длины соломины на 10 см приводило к увеличению устойчивости к полеганию в среднем на 0,24 балла ($R^2 = 0,347$).

Для выяснения причинно-следственных отношений в структуре корреляций (см. табл. 6) проведен анализ прямых и косвенных эффектов влияния признаков соломины на устойчивость к полеганию в данном наборе сортов (табл. 7). Масса отрезка второго нижнего междоузлия произвела наибольший прямой отрицательный эффект на устойчивость к полеганию ($P = -0,467$).

Второй по величине прямой эффект оказала длина второго нижнего междоузлия ($P = -0,408$). Признаки массы отрезка и длины второго нижнего междоузлия оказывали большие косвенные эффекты на устойчивость к полеганию посредством друг друга ($P = 0,313$ и $P = 0,273$ соответственно). Основной положительный прямой эффект выявлен от признака толщины стенки второго нижнего междоузлия ($P = 0,424$).

В наших исследованиях не установлено прямого положительного влияния признака массы отрезка второго нижнего междоузлия на устойчивость к полеганию (по усредненным данным), в отличие от исследований А. А. Тороп с соавторами (Torop et al., 2008, 2011). Однако в отдельные годы нами отмечено изменение величины прямого эффекта массы отрезка и других признаков второго нижнего междоузлия (табл. 8).

Таблица 6. Матрица коэффициентов корреляции между устойчивостью к полеганию и признаками соломины
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 6. Matrix of correlation coefficients between lodging resistance and stem characters
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Признаки / Characters	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	Длина соломины / Stem length	Масса целого междоузлия / Weight of the whole internode	Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	Длина междоузлия / Internode length	Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	Диаметр междоузлия / Internode diameter
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	1,00						
Длина соломины / Stem length	-0,55*	1,00					
Масса целого междоузлия / Weight of the whole internode	-0,65*	0,57*	1,00				
Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	-0,04	0,40	0,17	1,00			
Длина междоузлия / Internode length	-0,42	-0,01	0,53*	-0,67*	1,00		
Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	0,45	-0,15	-0,03	0,48	-0,35	1,00	
Диаметр междоузлия / Internode diameter	0,24	0,07	0,13	0,52*	-0,33	0,66*	1,00

Примечание: * – значимо на 5-процентном уровне; число наблюдений: 16

Note: * – statistically significant at the 5% level; number of observations: 16

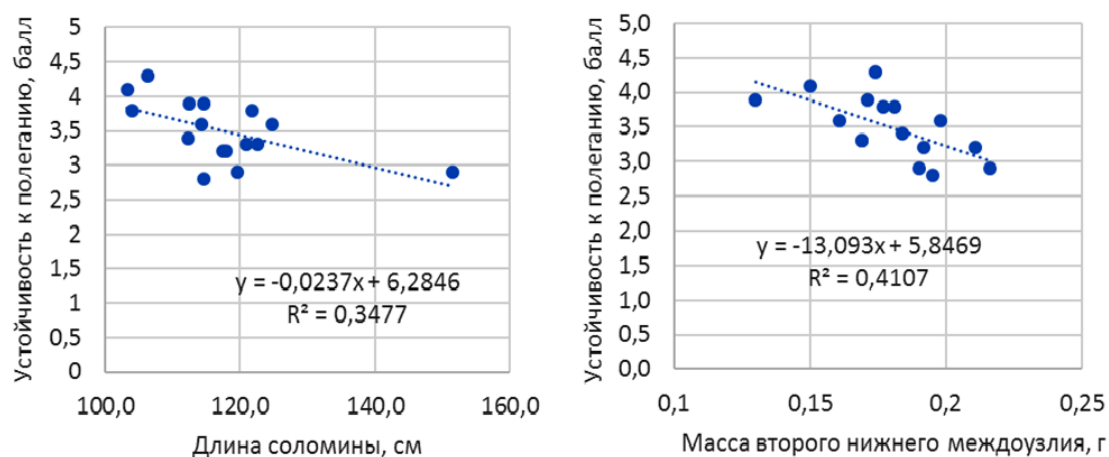


Рисунок. Зависимость устойчивости к полеганию сортов озимой ржи от признаков соломины (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Figure. Dependence of lodging resistance in winter rye cultivars on stem characters (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Таблица 7. Результаты путевого анализа устойчивости к полеганию (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 7. Results of the path-analysis of lodging resistance (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Признаки / Character	Длина соломины / Stem length	Масса второго нижнего междоузлия / Weight of the second lower internode	Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	Длина междоузлия / Internode length	Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	Диаметр междоузлия / Internode diameter	r
Длина соломины / Stem length	-0,161	-0,151	-0,187	0,004	-0,064	0,008	-0,55*
Масса второго нижнего междоузлия / Weight of the second lower internode	-0,092	-0,265	-0,079	-0,216	-0,013	0,015	-0,65*
Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	-0,064	-0,045	-0,467	0,273	0,204	0,059	-0,04
Длина междоузлия / Internode length	0,002	-0,140	0,313	-0,408	-0,148	-0,038	-0,42
Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	0,024	0,008	-0,224	0,143	0,424	0,075	0,45
Диаметр междоузлия / Internode diameter	-0,011	-0,034	-0,243	0,135	0,280	0,114	0,24

Примечание: r – коэффициент корреляции устойчивости к полеганию с морфологическими признаками; * – значимо на 5-процентном уровне; $P_0 = 0,576$ – остаточное влияние неучтенных факторов. Выделены прямые эффекты (P) признаков

Note: r – correlation ratio of lodging resistance to morphological characters; * – significant at the 5% level; $P_0 = 0.576$ – residual effect size of unaccounted factors. Direct effects (P) of characters are highlighted

Таблица 8. Прямые эффекты влияния признаков соломины на устойчивость к полеганию
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)**Table 8. Direct effects of stem characters on lodging resistance** (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Признаки / Characters	2017		2018		2019		2020	
Длина соломины / Stem length	-0,167	-0,51*	-0,446	-0,29	0,684	0,32	-1,322	-0,80*
Масса второго нижнего междоузлия / Weight of the second lower internode	0,353	-0,24	-0,655	-0,54*	-2,752	0,35	0,978	-0,37
Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	-0,181	-0,05	–	–	0,735	0,14	-0,007	0,37
Длина междоузлия / Internode length	-0,440	-0,09	0,224	-0,36	0,973	0,32	-0,971	-0,20
Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	–	–	-0,419	0,09	-0,743	0,01	-0,522	-0,12
Диаметр междоузлия / Internode diameter	-0,265	0,11	0,369	-0,19	2,119	0,53*	0,216	0,05
Остаточное влияние неучтенных факторов P_0 / Residual effect size of unaccounted factors P_0	0,742	–	0,779	–	0,498	–	0,139	–

Примечание: первый столбец – прямой эффект (P) признака, второй – коэффициент корреляции устойчивости к полеганию с морфологическими признаками; * – значимо на 5-процентном уровне

Note: the first column is the direct effect (P) of the character, the second is the correlation ratio of lodging resistance to morphological traits; * – significant at the 5% level

Влияние признаков второго нижнего междоузлия на устойчивость к полеганию было ограничено в 2017, 2018, 2019 г. ($P_0 = 0,742$; $0,779$; $0,498$ соответственно) и увеличено в 2020 г. ($P_0 = 0,139$). В годы с большей длиной соломины (2017 и 2020 г.) снижение устойчивости к полеганию происходило от увеличения длины соломины и длины второго нижнего междоузлия соответственно; повышение устойчивости – за счет массы второго нижнего междоузлия. При меньшей длине соломины (2018 и 2019 г.) устойчивость к полеганию снижалась в основном от увеличения массы второго нижнего междоузлия, а повышалась за счет увеличения диаметра междоузлия. По усредненным данным, основной причиной снижения устойчивости к полеганию в изучаемом наборе сортов была высокая масса отрезка второго нижнего междоузлия. Основной причиной повышения устойчивости к полеганию было увеличение толщины стенок второго нижнего междоузлия. Косвенный эффект на повышение устойчивости к полеганию оказало снижение длины второго нижнего междоузлия при одновременном увеличении массы отрезка, и наоборот.

Таким образом, путевой анализ выявил сложную структуру корреляций между устойчивостью к полеганию и морфологическими признаками второго нижнего междоузлия. В разных условиях вегетации формирование устойчивости растений к полеганию обусловлено различными признаками. Кроме рассмотренных признаков второго нижнего междоузлия, на устойчивость сортов к полеганию могли повлиять различия в мощности корневой системы растений, плотности стеблестоя вследствие различной перезимовки сортов, особенности морфотипа и анатомического строения растений. В связи с этим нет оснований принимать массу отрезка в качестве критерия для отбора и косвенной оценки устойчивости к полеганию в данном наборе сортов.

Кроме устойчивости к полеганию, масса отрезка второго нижнего междоузлия, по данным А. А. Тороп с соавторами (Torop et al., 2008, 2011), связана с продуктивностью колоса и может быть использована как критерий для отбора высокопродуктивных растений. Нами не обнаружено достоверной связи между продуктивностью колоса и массой отрезка междоузлия (табл. 9), что, вероятно, связано с недостаточным объемом выборки.

Таблица 9. Коэффициенты корреляции продуктивности колоса (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)**Table 9. Ear productivity correlation coefficients** (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Урожайность / Yield	Длина соломины / Stem length	Показатели второго снизу междоузлия / Indicators of the second lower internode:				
		масса / weight	длина / length	толщина стенки / wall thickness	диаметр / diameter	масса отрезка 1 см / weight of a 1 cm segment
0,44	-0,37	-0,39	-0,52*	0,52*	0,37	0,33

Примечание: * – значимо на 5-процентном уровне; число наблюдений: 16

Note: * – statistically significant at the 5% level; number of observations: 16

Продуктивность колоса была достоверно связана только толщиной стенки второго нижнего междоузлия и длиной второго нижнего междоузлия. Увеличение толщины стенки второго нижнего междоузлия на 0,1 мм приводило к повышению продуктивности колоса в среднем на 0,13 г ($y = 1,324x + 1,195$; $R^2 = 0,27$). Продуктивность колоса недостоверно связана с урожайностью.

Положительное влияние толщины стенки второго нижнего междоузлия на продуктивность колоса, возможно, связано со способностью стебля ржи запасать ассимиляты (Kobylyansky, Solodukhina, 2015; Torop et al., 2020).

Таким образом, устойчивость к полеганию в различной степени связана с морфологическими признаками соломины и второго нижнего междоузлия. Оценка сортов по морфологическим признакам соломины дополняет полевою визуальную оценку устойчивости к полеганию. Однако полевая оценка устойчивости к полеганию представляется более надежной, особенно в меняющихся агрометеорологических условиях. За период исследований выделены сорта 'Московская 12', 'Татьяна', 'Былина', 'Янтарная', отличающиеся стабильной устойчивостью к полеганию (3,8–4,3 балла, CV = 8–16%). Сорта предлагаются в качестве исходного материала для селекции ржи на устойчивость к полеганию в условиях Кировской области.

Заключение

Сорта озимой ржи отечественной селекции в различных климатических условиях вегетации 2017–2020 гг. достоверно различались по полевой оценке устойчивости к полеганию. Сортные различия по большинству признаков второго нижнего междоузлия стебля (длина, масса целого и отрезка, диаметр) были незначимы. Установлено, что снижение устойчивости к полеганию сортов ржи происходило в основном за счет увеличения массы отрезка второго нижнего междоузлия, косвенно характеризующей степень развития механических и проводящих тканей. Повышение устойчивости к полеганию, а также продуктивности колоса было связано главным образом с увеличением толщины стенки второго нижнего междоузлия.

Подбор исходного материала на устойчивость к полеганию в данном наборе сортов предлагается проводить по полевой оценке устойчивости к полеганию, а также по толщине стенки второго нижнего междоузлия соломины; при этом учитывается и длина соломины. В результате изучения в 2017–2020 гг. выделены сорта озимой ржи 'Московская 12', 'Татьяна', 'Былина', 'Янтарная', предлагаемые в качестве источников устойчивости к полеганию для селекции в условиях Кировской области.

References / Литература

Chaikin V.V., Pshenichnaya I.A., Torop A.A. Lodging of winter rye and baking qualities of its grain. *Zemledelie = Agriculture*. 2013;(5):27-28. [in Russian] (Чайкин В.В., Пшеничная И.А., Тороп А.А. Полегание озимой ржи и хлебопекарные качества. *Земледелие*. 2013;(5):27-28).

Chaikin V.V., Torop A.A., Torop E.A. Change of plant architectonics as a direction in breeding of winter rye. *Legumes and Groat Crops*. 2021;3(39):23-33. [in Russian] (Чайкин В.В., Тороп А.А., Е.А. Тороп. Изменение архитектоники растения как направление в селекции озимой ржи. *Зер-*

нобобовые и крупяные культуры. 2021;3(39):23-33). DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3- 23-33

Fedin M.A. (ed.) Methodology for the state variety trials of agricultural crops. Issue 1. General part. (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk 1. Obshchaya chast). Moscow; 1985. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. М.А. Федина. Москва; 1985).

Goncharenko A.A., Ermakov S.A., Semenova T.V., Filippov S.N. Ways to enhance winter rye breeding for resistance to lodging (Puti povysheniya selektsii ozimoy rzh na ustoychivost k poleganiyu) In: *Rye Breeding: Proceedings of the EUCARPIA Symposium*. Leningrad; 1990. p.65-71. [in Russian] (Гончаренко А.А., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Филиппов С.Н. Пути повышения селекции озимой ржи на устойчивость к полеганию. В кн.: *Селекция ржи: материалы Симпозиума ЕУКАРПИА*. Ленинград; 1990. С.65-71).

Griguletskiy V.G. To the question of stability of rectilinear forms of balance cutters of grain crops against flashback. Part 1. *Moscow Economic Journal*. 2019;(9):532-557. [in Russian] (Григулецкий В.Г. К вопросу устойчивости прямолинейной формы равновесия стеблей зерновых культур против полегания. Часть 1. *Московский экономический журнал*. 2019;(9):532-557). DOI: 10.24411/2413-046X-2019-19015

International COMECON List of Descriptors for the Genus *Secale* L. Leningrad: VIR; 1984. [in Russian; in English] (Международный классификатор рода *Secale* L. Ленинград: ВИР; 1984).

Ivanov A.P. Rye (Rozh) Leningrad; Moscow: Selkhozizdat; 1961. [in Russian] (Иванов А.П. Рожь. Ленинград; Москва: Сельхозиздат; 1961).

Kedrova L.I., Utkina E.I., Shlyakhtina E.A., Sheshhegova T.K., Parfenova E.S., Shamova M.G. et al. Biological bases of manufacture of grain of winter rye in European North-East of Russian Federation. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(6):21-23. [in Russian] (Кедрова Л.И., Уткина Е.И., Шляхтина Е.А., Шешегова Т.К., Парфенова Е.С., Шамова М.Г. и др. Биологические основы производства зерна озимой ржи на Евро-Северо-Востоке РФ. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(6):21-23).

Kobylyansky V.D., Korzun A.E., Katerova A.G., Lapikov N.S., Solodukhina O.V. Flora of cultivated plants. Vol. 2 (Pt 1). Rye. V.D. Kobylyansky (ed.). Leningrad; 1989. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Корзун А.Е., Катерова А.Г., Лапиков Н.С., Солодухина О.В. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 1. Рожь / под ред. В.Д. Кобылянского. Ленинград; 1989).

Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V. The role of the Vavilov Institute of Plant Industry in the initiation and development of new trends in winter rye breeding in Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):5-19. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Роль ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова в инициации и становлении новых направлений в селекции озимой ржи в России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(1):5-19). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-5-19

Lukyanova I.V. Analysis of specific and varietal features of the resistance of cereal crop stems to lodging, taking into account their physical and mechanical properties and architectonics for use in breeding (Analiz vidovykh i sortovykh osobennostey ustoychivosti stebly zlakovykh kul-

- tur k poleganiyu s uchetoм ikh fiziko-mekhanicheskikh svoystv i arkhitektoniki dlya ispolzovaniya v selektsii) [dissertation]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2008. [in Russian] (Лукьянова И.В. Анализ видовых и сортовых особенностей устойчивости стеблей злаковых культур к полеганию с учетом их физико-механических свойств и архитектоники для использования в селекции: дис. ... докт. биол. наук. Краснодар: Кубанский ГАУ; 2008).
- Muszynska A., Guendel A., Melzer M., Moya Y.A.T., Röder M.S., Rolletschek H. et al. A mechanistic view on lodging resistance in rye and wheat: a multiscale comparative study. *Plant Biotechnology Journal*. 2021;19(12):2646–2661. DOI: 10.1111/pbi.13689
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N. Morphometric parameters of stem as criteria for estimation of resistance of winter rye to lodging in the conditions of Middle Povolzh'e. *Agricultural Biology*. 2004;39(3):90–94. [in Russian] (Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Морфометрические параметры стебля как критерии оценки устойчивости растений озимой ржи к полеганию в условиях Среднего Поволжья. *Сельскохозяйственная биология*. 2004;39(3):90–94).
- Rovdo T.V., Artsiukh D.Yu. Results of studying collection accessions of winter rye in terms of the main economically important traits. *Zemledeliye i selektsiya v Belarusi = Farming and Breeding in Belarus*. 2021;(57):251–258. [in Russian] (Ровдо Т.В., Артюх Д.Ю. Результаты изучения коллекционных образцов озимой ржи по основным хозяйственно-ценным признакам. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2021;(57):251–258).
- Teteryatchenko G.K. Anatomical method for assessing source material of winter bread wheat for productivity, frost resistance and resistance to lodging (Anatomicheskiy metod otsenki iskhodnogo materiala myagkoy ozimoy pshenitsy na produktivnost, morozostoykost i ustoychivost k poleganiyu). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry*. 1984;146:28–32. [in Russian] (Тетерятченко Г.К. Анатомический метод оценки исходного материала мягкой озимой пшеницы на продуктивность, морозостойкость и устойчивость к полеганию. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1984;146:28–32).
- Tikhvinsky S.F., Butorina L.K. Fight against lodging of agricultural crops (Borba s poleganiyem selskokhozyaystvennykh kultur) Leningrad: Kolos; 1983. [in Russian] (Тихвинский С.Ф., Буторина Л.К. Борьба с полеганием сельскохозяйственных культур. Ленинград: Колос; 1983).
- Torop A.A., Chaykin V.V., Torop E.A., Kuzmenko S.A. Practical use of methods that provide both high yield and adaptability to environmental conditions in winter rye breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(3):32–35. [in Russian] (Тороп А.А., Чайкин В.В., Тороп Е.А., Кузьменко С.А. Практическое использование в селекции озимой ржи способов, позволяющих сочетать в сорте высокую урожайность и адаптивность к условиям среды. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(3):32–35). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10306
- Torop E.A., Chajkin V.V., Torop A.A. Method of estimation of winter rye selection material for lodging resistance. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2011;3(22):14–16. [in Russian] (Тороп Е.А., Чайкин В.В., Тороп А.А. Способ оценки селекционного материала озимой ржи на устойчивость к полеганию. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2011;3(22):14–16).
- Torop E.A., Chaikin V.V., Torop A.A. Method of selection of lodging-resistant cereals (Sposob otbora ustoychivyykh k poleganiyu form zernovykh kolosovykh злаков). Russian Federation; patent number: 2382549C2; 2008. [in Russian] (Тороп Е.А., Чайкин В.В., Тороп А.А. Способ отбора устойчивых к полеганию форм зерновых колосовых злаков. Российская Федерация; патент № 2382549C2; 2008). URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2382549C2_20100227 [дата обращения: 07.03.2022].
- Wójtowicz T., Grabowska-Joachimak A., Zieliński A. Analysis of morpho-anatomical stem properties determining its mechanical strength in selected rye cultivars. *International Agrophysics*. 2020;1(34):123–131. DOI: 10.31545/intagr/115096
- Wright S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*. 1921;20:557–585.
- Zakharov V.G., Syukov V.V., Yakovleva O.D. Correlation of morphoanatomical traits with lodging resistance in spring wheat in the Middle Volga region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(3):506–510. [in Russian] (Захаров В.Г., Сюков В.В., Яковлева О.Д. Сопряженность анатомо-морфологических признаков с устойчивостью к полеганию яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(3):506–510).
- Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N. Association of morphological traits with lodging resistance in spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):32–40. [in Russian] (Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):32–40). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40
- Zuo Y., Zhang X., Zuo S., Ren X., Liu Z., Dong L. et al. Changes of stem characteristics, senescence indexes and yield and quality of wintering rye under different populations. *Sustainability*. 2021;13(12):6876. DOI: 10.3390/su13126876

Информация об авторах

Наталья Александровна Набатова, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, nabatova43@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3845-0168>

Елена Сергеевна Парфенова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, elka1745@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>

Елена Игоревна Уткина, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, utkina.e.i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Марина Геннадьевна Шамова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, ChamowaMarina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4991-1510>

Екатерина Александровна Псарева, лаборант, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, katya-lih@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

Мария Николаевна Жукова, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, zhukovamasha15@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9015-0613>

Information about the authors

Nataliya A. Nabatova, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, nabatova43@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3845-0168>

Elena S. Parfenova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, elka1745@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>

Elena I. Utkina, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, utkina.e.i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Marina G. Shamova, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, ChamowaMarina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4991-1510>

Ekaterina A. Psareva, Laboratory Assistant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, katya-lih@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

Mariya N. Zhukova, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, zhukovamasha15@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9015-0613>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.03.2022; одобрена после рецензирования 31.05.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 11.03.2022; approved after reviewing on 31.05.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Перспективный исходный материал для селекции озимой тритикале в условиях Среднего Урала

Г. Н. Потапова¹, Н. Л. Зобнина¹, А. В. Безгодов¹, М. С. Иванова²

¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галина Николаевна Потапова, GNP6053@list.ru

Актуальность. По территории Свердловской области проходит северная граница возделывания зерновых культур. Высеваются сорта озимой тритикале, созданные в более южных регионах РФ, которые в неблагоприятных условиях зимней вегетации часто погибают. Селекция этой культуры для локального климата находится на начальном этапе, поэтому изучение исходного материала для создания новых, адаптированных к местным условиям и высокопродуктивных сортов, является актуальным.

Материалы и методы. В Уральском НИИСХ – филиале УрФАНИЦ УрО РАН в 2017–2020 гг. провели изучение 78 образцов озимой тритикале из девяти регионов РФ и семи зарубежных стран. Семена образцов получены из коллекции ВИР и селекционных учреждений РФ. Посев проводили вручную по чистому пару на делянках 1 м² в 3–4 повторностях, стандартный сорт 'Башкирская короткостебельная' высевали через девять делянок. Оценка проводилась по зимостойкости, урожайности, густоте продуктивных стеблей, высоте растений, длине колоса, числу колосков и зерен в колосе, массе 1000 зерен и продуктивности колоса в соответствии с методическими рекомендациями.

Результаты. У сортов 'Привада', 'Цекад 90', 'Немчиновский 58' высокая зимостойкость (70–81%) сочеталась с устойчивостью к поражению снежной плесенью (15–20%), высокой густотой продуктивного стеблестоя (324–425 шт./м²) и урожайностью (562–616 г/м²). У них были высокими масса 1000 зерен (45,4–49,1 г) и продуктивность колоса (2,63–2,68 г). Высокую урожайность (571–670 г/м²) и густоту продуктивного стеблестоя (285–436 шт./м²) при пониженной зимостойкости (62–72%) и устойчивости к снежной плесени (30–35%) наблюдали у сортов 'Сирс 57', 'Сотник', 'Термес', 'Антей', 'Бэа', 'Дон' и линий 1/1 и 8003 из Швеции.

Ключевые слова: коллекция, зимостойкость, высота растения, густота стеблестоя, урожайность, масса 1000 зерен, продуктивность колоса

Благодарности: исследования проведены в рамках Государственного задания и Программы ФНИ № 0532-2021-0008 «Создание конкурентоспособных, высокоурожайных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных культур и картофеля мирового уровня на основе перспективных генетических ресурсов, устойчивых к био- и абиотическим факторам».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Потапова Г.Н., Зобнина Н.Л., Безгодов А.В., Иванова М.С. Перспективный исходный материал для селекции озимой тритикале в условиях Среднего Урала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):88–96. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96

Promising source material for winter triticale breeding under the conditions of the Middle Urals

Galina N. Potapova¹, Nina L. Zobnina¹, Andrey V. Bezgodov¹, Maria S. Ivanova²¹ Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agriculture, Yekaterinburg, Russia² Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia**Corresponding author:** Galina N. Potapova, GNP6053@list.ru

Background. The northern border of cereal crop cultivation passes through the territory of Sverdlovsk Province. Cultivars of winter triticale developed in the regions of Russia located to the south are grown there, but they die under unfavorable winter conditions. The breeding of this crop in local climate is at an early stage, so a study of source material for breeding new high-yielding cultivars adapted to local conditions seems quite pertinent.

Materials and methods. In 2017–2020, the Ural Research Institute of Agriculture in Yekaterinburg conducted a study of 78 winter triticale genotypes from 10 regions of Russia and 7 foreign countries. The seeds were obtained from the VIR genebank and breeding centers of Russia. Sowing was carried out in clean fallow on August 20–25 on 1 m² plots in 3–4 repetitions, with the reference ‘Bashkirskaya korotkostebel’naya’ sown on every 10th plot. Plants were assessed for winter hardiness, yield, density of productive stems, plant height, ear length, number of spikelets and grains per ear, weight of 1000 grains, and ear productivity in accordance with published guidelines.

Results. Cvs. ‘Privada’, ‘Tsekad 90’ and ‘Nemchinovsky 58’ combined high winter hardiness (70–81%) with resistance to damage by snow mold (15–20%), high density of productive stems (324–425 pcs/m²), and high yield (562–616 g/m²). They had high 1000 grain weight (45.4–49.1 g) and ear productivity (2.63–2.68 g). High yield (571–670 g/m²) and density of productive stems (285–436 pcs/m²) with reduced winter hardiness (62–72%) and resistance to snow mold (30–35%) was observed in cvs. ‘Sirs 57’, ‘Sotnik’, ‘Germes’, ‘Antey’, ‘Beta’, ‘Don’, and lines 1/1 and 8003 from Sweden.

Keywords: collection, winter hardiness, plant height, productive stems, yield, productivity structure components

Acknowledgements: the studies were carried out within the framework of the state task and Basic Research Program No. 0532-2021-0008 “Development of competitive, high-yielding cultivars of cereals, legumes, fodder, fruit and berry crops, and potatoes of the worldwide level based on promising genetic resources resistant to bio- and abiotic factors”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Potapova G.N., Zobnina N.L., Bezgodov A.V., Ivanova M.S. Promising source material for winter triticale breeding under the conditions of the Middle Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):88–96. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96

Введение

Площади посева озимой тритикале в мире увеличиваются, в России посевы этой культуры смещаются к северным регионам (Maisak, 2020). Зерно тритикале с повышенным содержанием белка пригодно для фуражного и пищевого использования (Sukhova, 2013), что соответствует современным требованиям селекции (Loskutov, Khlestkina, 2021). Зеленая масса тритикале скармливается скоту в мае и июне или заготавливается на зиму (Andreeva et al., 2019; Goryanina, 2019; Grabovets, Krokmal, 2018).

Всесторонним изучением и селекцией озимой тритикале занимаются как в РФ, так и во многих зарубежных странах (Lalević et al., 2019; Suresh et al., 2020). Изучаются особенности вегетационного периода (Stepochkin, Emtseva, 2017; Emtseva, 2019), проводится селекция на повышение качества зерна (Diordiieva et al., 2019), урожайности и адаптивности новых сортов (Medvedev et al., 2019).

Озимая тритикале обладает высоким продуктивным потенциалом и выращивается в производстве на Среднем Урале немногим более десяти лет. Урожайность зерновых культур в местных условиях ниже 2 т/га (Zezin, 2020). Селекция этой культуры в условиях локального климата, где могут быть малоснежные или многоснежные и продолжительные, более 170 суток, зимы, и весенне-летние засухи, находится на начальном этапе.

Значение для селекции и необходимость проведения оценки исходного материала, особенно в условиях изменения климата, подчеркивают многие ученые (Gorbunov et al., 2017; Zotikov, 2017; Zenkina, Aseeva, 2020). В связи с этим проведение оценки образцов озимой тритикале, созданных в разных регионах РФ и зарубежных странах, является актуальным. Использование лучших из них для получения новых перспективных, адаптированных и высокопродуктивных для местных условий форм является важным этапом селекционной работы.

Цель исследования – провести изучение образцов озимой тритикале, отобрать лучшие из них по комплексам хозяйственно ценных признаков или отдельным показателям и использовать для селекции высокопродуктивных новых сортов, адаптированных к условиям Среднего Урала.

Материалы и методы

Изучение проводили на опытном поле Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (УрФАНИЦ УрО РАН) в 2017–2020 гг. в рамках Государственного задания по направлению 148 Программы ФНИ государственных академий наук. Посев с нормой высева 150–200 зерен осуществляли вручную на делянках площадью 1 м² в трех-четырёх повторностях. Стандарт 'Башкирская короткостебельная' высевали через девять делянок. Оценку проводили по зимостойкости, урожайности, густоте продуктивных стеблей, высоте растений, длине колоса, числу колосков и зерен в колосе, массе 1000 зерен и продуктивности колоса в соответствии с методическими рекомендациями (Merezhko, 1999).

Почва опытного участка темно-серая лесная, оподзоленная, тяжелосуглинистая, с содержанием гумуса 3,35%, рН 5,46, азота 88 мг/кг почвы, фосфора и калия 292 мг/кг и 162 мг/кг почвы соответственно.

В изучении было 52 образца из девяти регионов РФ: семь образцов из Польши, четыре из Белоруссии, по пять образцов из Германии и Украины, по одному образцу из Вьетнама и Мексики, три образца из Швеции.

Погодные условия в годы проведения исследований различались во все фазы развития растений в течение вегетационного периода озимой тритикале. В 2016–2017 гг. холодная погода с октября до середины декабря и теплая в течение остальных зимних месяцев, ранняя весна, теплое лето с большим количеством осадков были благоприятными для развития растений и формирования урожая. В 2017–2018 гг. осень была теплой, зима продолжительной (164 сут.) и малоснежной, с высотой снежного покрова не более 28 см. Гибель растений зимой происходила в основном из-за действия низких температур. Весна прохладная и сухая, лето жаркое с недостатком влаги в июне и избытком в июле. В 2018–2019 гг. осень и начало зимы были близки к норме, с середины декабря до конца марта погода была теплой и многоснежной, с высотой снежного покрова более 70 см, что привело к полной гибели посевов тритикале. В 2019–2020 гг. среднесуточная температура воздуха осенью и зимой была выше нормы, сумма отрицательных температур (–865°C) – в два раза выше нормы (–1610°C) в сочетании со снежным покровом высотой 45 см, что привело к сильному поражению растений снежной плесенью. Раннее начало весны и сход снега раньше на две недели, в конце марта, не привели к полной гибели посевов тритикале. Весна и лето были теплыми с недостатком влаги (ГТК = 0,7), особенно в мае и июле.

Статистическая обработка и корреляционный анализ выполнены по Б. А. Доспехову (Dospichov, 1979) с использованием Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Варьирование признаков у набора образцов озимой тритикале в годы изучения

Образцы озимой тритикале показали различную зимостойкость в разные годы изучения. В среднем по всему набору образцов более высокий уровень зимостойкости (87%) отмечен в 2017 г., по отдельным образцам показатель колебался от 55% до 100% (табл. 1). В 2018 г. зимостойкость образцов варьировала от 36% до 91%, но в среднем была на 18% ниже по сравнению с предыдущим годом. Растения тритикале погибали от вымерзания, так как зимой высота слоя снега была на уровне 25–28 см, а глубина промерзания почвы достигала 110 см. В условиях 2020 г. зимостойкость изучаемых образцов изменялась в пределах от 0 до 49% и в среднем составила 29%. Гибель растений тритикале была связана в основном с развитием снежной плесени, которой были поражены растения всех образцов. За все годы изучения средняя зимостойкость данного набора образцов озимой тритикале составила 62%.

Поражение растений снежной плесенью, основным возбудителем которой является *Fusarium nivale* L., в условиях Среднего Урала наблюдается почти ежегодно. В зависимости от условий перезимовки и устойчивости у образцов тритикале были поражены или отдельные растения, или небольшая, или значительная часть растений. В 2017 г. у отдельных образцов было поражено 5–10% растений, растения многих образцов вообще не поразились. В 2018 г. пораженных растений не обнаружили у сортов 'Привада' и 'Пушкинский 81/4', у других образцов было поражено 10–48% растений. В 2020 г. в за-

Таблица 1. Характеристика изученных образцов по показателям, определяющим адаптивные свойства и продуктивность озимой тритикале в условиях Среднего Урала**Table 1. Description of the studied material according to the indicators that determine adaptability and productivity of winter triticale under the conditions of the Middle Urals**

Показатель	2016/2017 г.		2017/2018 г.		2019/2020 г.		Средняя за годы изучения
	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	
Урожайность, г/м ²	379	98–875	522	205–910	293	49–757	398
Зимостойкость, %	87	55–100	69	36–91	29	0–49	62,0
Снежная плесень, %	3,0	0–10	15,2	0–48	68,0	40–86	29,0
Количество растений, шт./м ²	71	34–128	59	18–91	28,5	0–60	53
Число продуктивных стеблей, шт./м ²	329	125–523	261	63–428	172	0–476	254
Высота растения, см	112	86–153	94	70–131	80	55–129	95
Длина колоса, см	10,7	7,9–12,2	11,9	9,4–13,6	10,8	8,2–12,9	11,1
Число колосков в колосе, шт.	27,1	17,2–31,4	27,9	20,5–33,4	26,8	20,4–31,6	27,3
Число зерен в колосе, шт.	49,1	21,9–69,9	68,4	44,7–85,0	61,8	41,8–81,0	59,8
Масса 1000 зерен, г	39,4	29,5–55,7	46,3	35,8–57,4	42,1	34,1–54,7	42,6
Продуктивность колоса, г	1,91	0,87–2,87	3,14	1,93–4,4	2,58	1,63–3,86	2,54

висимости от образца поражение растений варьировало от 40% до 86%. В среднем по всем образцам за три года величина показателя была на уровне 29%.

Урожайность у изученных образцов тритикале в 2017 г. колебалась от 98 до 875 г/м², средняя урожайность была равна 379 г/м². В 2018 г. она была выше у всех изученных образцов и варьировала от 205 до 757 г/м², а средняя (522 г/м²) превысила урожайность 2017 г. на 37,7%. В 2020 г., в связи с сильным поражением растений снежной плесенью, средняя урожайность (293 г/м²) была на 78% ниже, чем в 2018 г., у образцов она колебалась от 49 до 757 г/м². Средняя урожайность за три года изучения составила 398 г/м². Образцы озимой тритикале, способные формировать урожайность на 15–20% выше средней, то есть 460 и 500 г/м², планируется использовать как исходный материал для получения новых высокопродуктивных сортов.

Проведенный нами корреляционный анализ выявил среднюю положительную связь между зимостойкостью и урожайностью ($r = 0,583$), отрицательную ($r = -0,615$) – между зимостойкостью и поражением снежной плесенью, а также высокую отрицательную – между урожайностью и снежной плесенью ($r = -0,754$). Таким образом, для использования в селекции озимой тритикале необходимо отбирать исходный материал с максимально высокой зимостойкостью и урожайностью и низким поражением снежной плесенью.

Высокая зимостойкость не является гарантией высокой урожайности. Установлена достоверная высокая положительная корреляция во все годы изучения между урожайностью и количеством сохранившихся к уборке растений ($r = 0,673$ – $0,712$), урожайностью и числом продуктивных стеблей на 1 м² ($r = 0,678$ – $0,938$). Снижение уровня урожайности в 2017 г. было обусловлено низкими значениями числа зерен в колосе и продуктивности

колоса (см. табл. 1). В 2018 г. продуктивный стеблестой был ниже, чем в 2017 г., на 26%, но длина колоса, число колосков и зерен в колосе, масса 1000 зерен и продуктивность колоса были выше на 11,3; 39,0; 18,0 и 64,0% соответственно. Таким образом, при благоприятных условиях весенне-летней вегетации в значительной мере компенсировалась гибель растений в зимний период. В 2020 г., густота растений и продуктивного стеблестоя были примерно в два раза ниже, чем в 2018 г., а число колосков и зерен в колосе, масса 1000 зерен и продуктивность колоса были выше, чем в 2017 г., но ниже по сравнению с 2018 г. на 10, 4, 11, 10 и 22% соответственно. В связи с этим у большинства изученных образцов тритикале урожайность оказалась ниже стандарта.

Характеристика изученных образцов озимой тритикале по хозяйственно ценным признакам

По каждому признаку были отобраны образцы, у которых его значение превышало как среднее значение всего изученного набора, так и стандартного сорта.

Урожайность стандартного сорта 'Башкирская короткостебельная' в 2017 г. была на уровне общей средней, 379 г/м², в 2018 г. – выше средней на 27,7%, в 2020 г. и в среднем за все годы – выше на 16% (табл. 2). Зимостойкость и густота стеблестоя стандартного сорта были выше общей средней на 6 и 13% соответственно, поэтому сорт 'Башкирская короткостебельная' планируется использовать в селекции.

Образцы различались по уровню зимостойкости. Среднюю за годы изучения зимостойкость (70–81%), которая была выше общей средней по всем образцам на 12,9–30,6% и незначительно выше стандарта, имели сорта 'Привада', 'Цекад 90', 'Сирс 57', 'Немчиновский 58', 'Трибун', 'Пушкинский 81/4', 'Пушкинский 336', 'Пушкинский 335', 'Валентин 90', 'Сотник', 'Докучаевский 8' (см.

Таблица 2. Характеристика по урожайности и адаптивным показателям лучших образцов озимой тритикале (Уральский НИИСХ, коллекционный питомник, 2017–2020 гг.)
Table 2. Yield and adaptability characteristics of the best winter triticale genotypes (collection nursery, 2017–2020)

Образец	№ по каталогу ВИР	Зимостойкость, %		Снежная плесень, %		Урожайность, г/м ²		Продуктивный стеблестой, шт./м ²		Высота, см	
		средняя	min-max	средняя	min-max	средняя	min-max	средняя	min-max	средняя	min-max
Башкирская короткостебельная (стандарт)		66	34–90	24	0–62	463	341–667	288	258–329	96	81–113
Привада	к-2887	81	54–98	17	5–45	587	470–741	324	293–350	127	118–132
Цекад 90	к-3906	74	52–100	15	0–2	562	431–660	349	306–398	96	82–106
Немчиновский 58		71	40–100	20	0–40	616	520–754	425	369–495	107	92–115
Антей	к-3562	68	40–100	20	0–50	603	526–754	436	323–487	113	83–128
Сирс 57		71	43–100	33	0–80	587	440–840	285	263–309	91	86–96
Сотник	к-3876	72	50–100	30	10–75	593	510–723	368	336–412	95	84–105
Бэга		67	40–80	30	5–70	670	640–700	363	298–412	94	81–104
Дон	к-3637	68	50–87	33	10–55	571	442–700	378	332–423	89	81–96
Гермес	к-3561	67	51–0	37	10–70	581	520–642	437	386–495	118	92–131
Линия 1/1 (Швеция)		62	24–100	30	0–70	687	281–750	411	408–414	79	72–88
Линия 8003 (Швеция)		63	30–89	35	10–60	592	332–640	370	352–381	79	74–89
Пушкинский 67/4	к-2825	68	8–98	15	0–40	448	128–747	291	92–428	78	55–102
Трибун	к-3859	74	33–98	28	0–70	375	265–545	290	202–378	79	71–91
Пушкинский 81/4		74	57–100	25	0–75	393	231–516	275	152–395	83	73–104
Пушкинский 336	к-2857	72	48–96	28	3–60	466	410–545	309	258–395	81	61–106
Пушкинский 335	к-2856	73	27–98	22	0–60	289	215–341	254	150–363	101	93–110
Валентин 90		71	42–99	30	0–80	450	197–758	280	205–348	86	80–86
Докучаевский 8	к-3766	70	49–99	29	0–78	382	247–485	202	175–235	119	116–126
Виктор	к-5859	59	32–100	21	0–52	346	173–622	280	205–348	94	69–123
Зимотор	к-3903	66	45–89	40	10–50	376	221–568	306	254–336	101	94–105
Корнет	к-3636	67	48–83	35	10–40	373	218–527	363	271–416	97	86–104
Бард	к-3839	63	49–70	30	0–70	463	360–543	352	268–472	82	76–85
Presto (Польша)	к-2037	54	8–82	47	10–90	493	265–695	319	205–445	97	95–99
LT 142/75 (Польша)		61	26–84	37	10–70	328	237–441	185	152–203	104	87–120

Примечание: полужирным шрифтом выделены значения показателей, достоверно превышающие стандарт при НСР₀₅

Note: values of indicators significantly exceeding the reference at LSD₀₅ are boldfaced

табл. 2). У образцов 'Пушкинский 67/4', 'Гермес', 'Антей', 1/1, 8003, 'Зимогор', 'Корнет', 'Бэта', 'Бард', 'Дон', 'LT 142/75' зимостойкость была на уровне стандарта и общей средней, то есть 60–69%.

У сортов 'Привада', 'Пушкинский 67/4', 'Антей', 'Немчиновский 58', 'Цекад 90' поражение снежной плесенью составило 15–20%, что ниже стандарта на 4–9%. Напротив, у сортов 'Сирс 57', 'Трибун', 'Гермес' и других поражение снежной плесенью (28–33%) примерно настолько же было выше стандарта. Следует отметить, что у большинства изученных образцов озимой тритикале зимостойкость и устойчивость к снежной плесени оказались значительно ниже стандартного сорта.

Средняя урожайность (562–616 г/м²) образцов 'Привада', 'Антей', 'Немчиновский 58', 'Гермес', 'Сирс 57', 8003, 'Дон', 'Цекад 90' и 'Сотник' превышала стандарт на 21–33%. У сорта 'Бэта' (670 г/м²) и линии 1/1 (687 г/м²) она превосходила его даже на 45% и 48% соответственно, хотя зимостойкость была на уровне стандарта, а поражение снежной плесенью – выше (30–37%).

У многих образцов озимой тритикале в условиях одного года изучения были высокими и зимостойкость, и урожайность. Это позволило определить потенциальную урожайность этих образцов при благоприятных условиях выращивания. В 2017 г. урожайность 519–640 г/м², выше стандарта (382 г/м²) на 36–67%, имели сорта 'Виктор', 'Гермес', 'АД-15' и линия 8003. У сортов 'Дон', 'Рондо', 'Сирс 57' и линии 1/1 она достигала 730–840 г/м² и была выше стандарта на 91–120%. В 2018 г. урожайность 747 и 758 г/м², что выше стандарта на 12–14%, была получена у сортов 'Валентин 90' и 'Пушкинский 67/4'. У сортов 'АД зеленый', 'Presto', 'TSW 2/591' она была на уровне стандарта – 632–695 г/м² (стандарт 667 г/м²). В 2020 г. урожайность выше стандарта на 52–60% и на его уровне (520–545 г/м²) была у сортов 'Сотник', 'Гермес', 'АД-15', 'Пушкинский 336'. Изучение образцов, показавших высокую урожайность в отдельные годы, продолжается.

Большинство высокоурожайных образцов достоверно (на 12,5–51,7%) превышали стандарт и по густоте продуктивного стеблестоя (см. табл. 2), величина которого достигала 324–437 шт./м². У многих образцов этот показатель был на уровне или значительно ниже стандарта.

В связи с обильными (157% к норме) осадками в июне 2017 г. наблюдали быстрый рост растений всех образцов тритикале. У высокорослых образцов 'Житница', 'Гренадер', 'Аграф', 'АД зеленый', 'Торнадо', 'Привада', 'Ижевская 2' высота растений была больше 130 см. Эти образцы были неустойчивы к полеганию, особенно после ливней с сильными ветрами. По результатам дополнительной оценки на урожайность зеленой массы, возможно использование этих образцов для получения нового кормового сорта. В 2018 г. и особенно в 2020 г. высота растений у большинства образцов была меньше 100 см, так как в 2018 г. июнь был засушливым и жарким, а в 2020 г. – засушливым и холодным. Между урожайностью и высотой растений статистически достоверной связи не выявлено ($r = 0,058$). Высота растений у высокоурожайных, устойчивых к полеганию образцов колебалась от 90 до 115 см. Определенный интерес для использования в селекции представляют линии 1/1, 8003 и сорта 'Сотник', 'Дон', у которых высота растений была на уровне 70–90 см.

Длина колоса в годы изучения у образцов озимой тритикале, как показано в таблице 3, изменялась в широ-

ких пределах – от 7,9 до 13,6 см. Наиболее высоким этот показатель был в 2018 г. У стандарта 'Башкирская короткостебельная' и сортов 'Докучаевский 8', 'Привада', 'Пушкинский 67/4' и 'Пушкинский 81/4' средняя длина колоса за три года была около 12 см, что выше общей средней (11,1 см) на 6–7%. Число колосков в колосе наиболее высоким (29,8–30,0 шт.) было у сортов 'Башкирская короткостебельная', 'Пушкинский 67/4', 'Пушкинский 81/4', 'Докучаевский 8' и 'Виктор'.

Количество зерен в колосе также сильно колебалось в годы изучения и в среднем за три года было на уровне 59,8 шт. Для селекции ценными были образцы с числом зерен в колосе более 60 шт. Из изученного набора образцов в эту группу вошли сорта 'Пушкинский 67/4', 'Виктор', 'Бэта' и 'LT 142/75', имевшие в колосе 62,2–72,4 зерен, что выше стандарта на 12–30%.

Средняя масса 1000 зерен за годы изучения составила 42,6 г, у стандарта – 44,1 г, незначительно выше (на 3,5%). Крупное зерно с высокой массой 1000 зерен (49,1–50,1 г), что больше стандарта на 11–14%, в течение трех лет было у сортов 'Цекад 90', 'Докучаевский 8', 'Пушкинский 336', 'Немчиновский 58', 'Валентин 90' и 'Бард'. Эти образцы планируется включать в гибридизацию для улучшения данного показателя. У сортов 'Антей', 'Бард', 'Немчиновский 58' и 'Корнет' масса 1000 зерен была несколько выше стандарта во все годы изучения. У сортов 'Привада', 'Валентин 90', 'Бэта', 'Presto' величина показателя сильно колебалась – от 35 до 50 г. У линий 1/1 и 8003 из Швеции масса 1000 зерен была ниже стандарта, а у сортов 'Presto' и 'LT 142/75' из Польши – на уровне стандарта.

Между продуктивностью колоса и урожайностью установлена положительная средняя корреляционная зависимость ($r = 0,528$). Общая средняя продуктивность колоса за три года была 2,54 г, у стандарта – 2,45 г. У сортов 'Валентин 90', 'Докучаевский 8', 'Бэта', 'LT 142/75' продуктивность колоса (2,74–3,17 г) была выше стандарта на 13–29%, а у сортов 'Привада', 'Антей', 'Цекад 90' – на 7–9%.

Оценка содержания питательных веществ в зерне показала, что в годы изучения повышенное содержание сырого белка (14,5–15,9%) имели сорта 'Привада', 'Аграф', 'Ижевская 2', 'Гренадер'. У сортов 'Башкирская короткостебельная', 'Бард', 'Бэта' величина этого показателя колебалась от 13,2 до 14,4%. Содержание крахмала в зерне (59,3–59,8%) было выше по сравнению с другими образцами у сортов 'Корнет', 'Зимогор' и 'Бард'.

Заключение

По территории Среднего Урала проходит северная граница ареала выращивания зерновых культур, в том числе озимой тритикале. Для селекции этой культуры требуется исходный материал, адаптированный к условиям типичного континентального климата, прежде всего резкой смене годовых и суточных температур, а также устойчивый к снежной плесени.

Полученные нами результаты при проведении полевого изучения позволяют рекомендовать для использования в гибридизации при создании новых сортов образцы, обладающие как отдельными хозяйственно ценными признаками, так и их комплексами. Среди них сорта 'Привада', 'Цекад 90', 'Немчиновский 58' и 'Антей', у которых была высокой за годы изучения зимостойкость (средняя 70–81%), поражение снежной плесенью не превышало 15–20%, при этом эти признаки сочетались с высокой

Таблица 3. Элементы продуктивности лучших образцов озимой тритикале (Уральский НИИСХ, коллекционный питомник, 2017–2020 гг.)
Table 3. Productivity components in the best winter triticale genotypes (collection nursery, 2017–2020)

Образец	№ по каталогу ВИР	Длина колоса, см		Число колосков в колосе, шт.		Число зерен в колосе, шт.		Масса 1000 зерен, г		Продуктивность колоса, г	
		средняя	min-max	средняя	min-max	средняя	min-max	средняя	min-max	средняя	min-max
Башкирская коротко-стебельная (стандарт)		12,0	11,6–12,6	30,7	29,2–32,0	55,5	44,7–67,3	44,1	43,3–45,2	2,45	1,93–3,04
Привада	к-2887	11,8	11,6–11,9	28,9	26,5–31,6	58,7	57,5–60,3	45,4	35,8–57,0	2,63	2,06–3,30
Антей	к-3562	11,0	10,4–11,4	28,0	25,8–29,9	58,3	49,2–63,1	45,9	44,6–47,2	2,68	2,26–2,98
Цекад 90	к-3906	10,1	9,4–10,6	27,3	26,6–27,6	54,3	49,2–57,8	49,1	48,2–50,2	2,67	2,48–2,83
Немчиновский 58		9,7	8,8–11,0	27	26,3–28,1	51,2	35,6–64,0	47,7	41,7–53,4	2,41	1,9–3,08
Пушкинский 67/4	к-2825	11,9	11,5–12,2	30,0	27,7–31,4	67,9	65,8–69,3	34,1	29,6–36,8	2,31	2,03–2,48
Трибун	к-3859	11,1	10,9–11,4	26,7	25,7–28,1	59,4	44,1–68,2	44,1	38,5–47,1	2,67	1,70–3,21
Пушкинский 81/4		11,8	11,2–12,3	29,8	27,5–31,8	52,7	38,2–64,5	41,3	35,6–44,2	1,93	1,69–2,79
Пушкинский 336	к-2857	10,6	8,5–11,9	24,0	17,5–27,4	49,2	24,2–7	50,1	49,1–51,2	2,45	1,24–3,28
Пушкинский 335	к-2856	11,4	10,6–12,2	28,1	25,4–30,4	55,0	46,2–68,1	41,2	32,7–47,4	2,32	1,66–3,10
Валентин 90		11,3	10,2–12,3	26,7	25,1–28,1	56,2	21,9–78,9	46,5	39,7–54,5	2,74	0,87–4,30
Сотник	к-3876	10,7	10,0–11,4	27,5	26,8–28,2	58,1	41,4–71,2	41,7	39,1–43,9	2,45	1,60–3,13
Докучаевский 8	к-3766	12,1	10,7– 13,5	29,9	26,8–32,2	60,7	58,3–64,3	49,6	38,8–55,2	3,02	2,26–3,55
Гермес	к-3561	10,0	9,5–10,4	28,0	27,8–28,1	57,1	46,1–65,1	43,5	38,2–49,7	2,52	1,78–3,00
Виктор	к-5859	11,5	10,9–12,1	29,7	26,6–32,4	64,0	50,3–71,7	39,8	35,6–43,5	2,59	1,79–3,12
Бэга		10,8	10,0–11,4	27,8	26,4–28,8	62,2	53,1–67,1	44,2	38,6–50,5	2,78	2,05–3,39
Линия 1/1 (Швеция)		9,6	8,6–10,6	22,8	21,8–24,5	53,7	37,4–64,7	41,8	39,9–44,5	2,25	1,53–2,63
Линия 8003 (Швеция)		9,8	8,8–10,7	24,3	22,7–27,3	56,6	41,1–65,0	40,6	36,5–43,4	2,30	1,50–2,76
Зимогор	к-3903	10,3	8,6–12,1	26,0	24,0–28,2	54,8	30,5–66,6	41,7	36,4–46,1	2,33	1,11–3,07
Корнет	к-3636	10,1	8,4–12,0	26,0	23,2–29,1	55,6	33,1–68,4	44,4	40,8–45,9	2,47	1,35–3,05
Бард	к-3839	10,0	9,4–10,4	25,4	23,6–26,1	51,6	32,7–63,1	47,7	44,3–52,4	2,51	1,45–3,32
Presto (Польша)	к-2037	10,3	10,1–10,6	25,6	25,4–25,8	59,9	52,2–64,6	43,0	35,1–50,7	2,57	2,26–3,19
LT 142/7 (Польша)		11,6	11,1–12,2	27,8	25,8–31,4	72,4	64,4–82,3	43,7	37,4–48,7	3,17	2,41–3,66

Примечание: полужирным шрифтом выделены значения показателей, достоверно превышающие стандарт при НСР₀₅

Note: values of indicators significantly exceeding the reference at LSD₀₅ are boldfaced

густотой продуктивного стеблестоя (324–436 шт./м²) и урожайностью (562–616 г/м²), высокими массой 1000 зерен (45,4–49,1 г) и продуктивностью колоса (2,63–2,68 г).

Высокая урожайность (581–670 г/м²) и густота продуктивного стеблестоя (285–436 шт./м²) при пониженной зимостойкости (62–68%) и меньшей устойчивости к снежной плесени (30–35%) были характерны для сортов 'Сирс 57', 'Сотник', 'Гермес', 'Бэта', 'Дон' и линий 1/1, 8003. Большим числом зерен в колосе (62,2–72,4 шт.) отличались сорта 'Пушкинский 67/4', 'Виктор', 'Бэта' и 'ЛТ 142/75', а сорта 'Докучаевский 8', 'Пушкинский 336', 'Валентин 90' и 'Бард' – повышенной массой 1000 зерен (43,7–50,1 г). Продуктивность колоса (2,67–3,17 г) выше стандарта была у сортов 'Трибун', 'Валентин 90', 'Докучаевский 8' и 'Бэта'.

У сортов 'Привада', 'Торнадо', 'Аграф', 'Ижевская 2' и 'Гренадер' было повышенное содержание сырого протеина (14,5–15,9%). У сортов 'Башкирская короткостебельная', 'Зимогор', 'Корнет' и 'Бард' содержание крахмала достигало 59,3–59,8%.

Перечисленные выше образцы включены в рабочую коллекцию УрФАНИЦ УрО РАН и могут быть рекомендованы для использования в селекции при создании новых сортов, адаптированных к условиям Среднего Урала.

References / Литература

- Andreeva O.T., Pilipenko N.G., Sidorova L.P., Kharchenko N.Yu. Productivity and forage quality of triticale-grain legume mixtures in the Trans-Baikal Territory. *Fodder Production*. 2019;(9):22-29. [in Russian] (Андреева О.Т., Пилипенко Н.Г., Сидорова Л.П., Харченко Н.Ю. Урожайность и кормовые качества тритикале в смешанных посевах с зернобобовыми культурами в Забайкальском крае. *Кормопроизводство*. 2019;(9):22-29).
- Diordiieva I.P., Riabovol Ya.S., Riabovol L.O., Rengach P.N., Kotsiuba S.P., Makarchyk M.A. Use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) in breeding triticale (*Triticosecale* Wittmack) for grain quality. *Agricultural Biology*. 2019;54(1):31-37. [in Russian] (Диордиева И.П., Рябовол Я.С., Рябовол Л.О., Ренгач П.Н., Коцюба С.П., Макачук М.А. Использование спельты (*Triticum spelta* L.) в селекции на качество зерна тритикале (*Triticosecale* Wittmack). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(1):31-37). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.31rus
- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Kolos; 1979. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос; 1979).
- Emtseva M.V. The use of *Vrn* genes for creation of triticale forms with different length of vegetation period (review). *Agricultural Biology*. 2019;55(1):3-14. [in Russian] (Емцева М.В. Использование генов *Vrn* для создания форм тритикале с разной продолжительностью вегетационного периода (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;55(1):3-14). DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.3rus
- Gorbunov V.N., Bocharnikova O.G., Bogomolova T.R., Shyshlyannikov Ya.I., Shevchenko V.E. Gorka as a new variety of winter triticale. *International Research Journal*. 2017;12-3(66):95-99. [in Russian] (Горбунов В.Н., Бочарникова О.Г., Богомолова Т.Р., Шишлянников Я.И., Шевченко В.Е. Горка – новый сорт озимой тритикале. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017;12-3(66):95-99). DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.105
- Goryanina T.A. Green mass productivity and quality of winter crops as affected by cutting time. *Fodder Production*. 2019;(6):23-27. [in Russian] (Горянина Т.А. Урожайность и качество зеленой массы озимых культур в зависимости от сроков скашивания. *Кормопроизводство*. 2019;(6):23-27).
- Grabovets A.I., Krokhamal A.V. Triticale breeding for green feed on the Don. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(12):40-42. [in Russian] (Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Селекция тритикале на зеленый корм на Дону. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(12):40-42). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11211
- Lalević D., Biberdžić M., Ilić Z., Milenković L., Tmušić N., Stojiljković J. Effect of cultivar and increased nitrogen quantities on some productive traits of triticale. *Agricultural and Forestry*. 2019;65(4):127-136.
- Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*. 2021;10(1):86. DOI: 10.3390/plants10010086
- Maisak G.P. Results of winter triticale varieties trials in Perm region. *Perm Agrarian Journal*. 2020;1(29):53-59. [in Russian] (Майсак Г.П. Итоги испытания сортов тритикале озимой в Пермском крае. *Пермский аграрный вестник*. 2020;1(29):53-59). DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10002
- Medvedev A.M., Poma N.G., Osipov V.V., Osipova O.V., Liseenko E.N., Serebrennikova I.N. On the issue of creating winter triticale varieties with high rates of productivity and quality of grain in the Central Region of the Non-Black Earth Zone of Russia. *Legumes and Groat Crops*. 2019;1(29):89-93. [in Russian] (Медведев А.М., Пома Н.Г., Осипов В.В., Осипова О.В., Лисеенко Е.Н., Серебренникова И.Н. К вопросу создания сортов озимой тритикале с высокими показателями продуктивности и качества зерна в Центральном районе Нечерноземной зоны России. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019;1(29):89-93). DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11078
- Merezhko A.F. (ed.). Replenishment, preservation *in vivo* and study of the world collection of wheat, *Aegilops* and triticale: Guidelines (Popolneniye, sokhraneniye v zhivom vide i izucheniye mirovoy kollektsii pshenitsy, egilopsa i tritikale: Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: Методические указания / под ред. А.Ф. Мережко. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Stepochkin P.I., Emtseva M.V. Study of the interphase period "shoots-eating" of the initial parental forms and hybrids of triticale with different *Vrn* genes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(5):530-533. [in Russian] (Стёпочкин П.И., Емцева М.В. Изучение межфазного периода «всходы-колошение» у исходных родительских форм и гибридов тритикале с разными генами *Vrn*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(5):530-533). DOI: 10.18699/Ш17.22-0
- Sukhova O.V. Research of the chemical composition of triticale grain as main raw materials containing proteins. *Bulletin NGIEI*. 2013;8(27):85-90. [in Russian] (Сухова О.В. Исследование химического состава зерна тритикале как основного белковосодержащего зерна. *Вестник НГИЭИ*. 2013;8(27):85-90).
- Suresh N., Bishnoi O.P., Belh R.K., Munjal R. Study on potentials of triticale as an alternative of wheat in India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(1):898-901.
- Zenkina K.V., Aseeva T.A. Selection value of spring triticale collection varieties in the Far Eastern region. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020;(3):66-70. [in Russian]

sian] (Зенкина К.В., Асеева Т.А. Селекционная ценность коллекционных сортов ярового тритикале в условиях Дальневосточного региона. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2020;(3):66-70). DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/66-70

Zezin N.N. (ed.). Scientifically justified zonal system of agriculture in Sverdlovsk Province (Nauchno obosnovannaya zonalnaya sistema zemledeliya Sverdlovskoy oblasti). Yekaterinburg; 2020. [in Russian] (Научно обоснованная

зональная система земледелия Свердловской области / под ред. Н.Н. Зезина. Екатеринбург; 2020).

Zotikov V.I. The role of genetic resources in increasing the productivity and environmental sustainability of crop production. Grain Legumes and Cereals. 2017;2(22):4-8. [in Russian] (Зотиков В.И. Роль генетических ресурсов в повышении продуктивности и экологической устойчивости растениеводства. Зернобобовые и крупяные культуры. 2017;2(22):4-8).

Информация об авторах

Галина Николаевна Потапова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, GNP6053@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8842-657X>

Нина Леонидовна Зобнина, старший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, zobnina_1968@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3177-4303>

Андрей Викторович Безгодов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал УрФАНИЦ УрО РАН, 620142 Россия, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а, spagro@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6969-6817>

Мария Сергеевна Иванова, старший преподаватель, Уральский государственный аграрный университет, 620075 Россия, Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 4, m-ivaivanova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7158-9321>

Information about the authors

Galina N. Potapova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agriculture, branch of the UFARC UB RAS, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, GNP6053@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8842-657X>

Nina L. Zobnina, Senior Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agriculture, branch of the UFARC UB RAS, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, zobnina_1968@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3177-4303>

Andrei V. Bezgodov, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agriculture, branch of the UFARC UB RAS, 112a Belinskogo St., Yekaterinburg 620142, Russia, spagro@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6969-6817>

Maria S. Ivanova, Senior Lecturer, Ural State Agrarian University, 4 K. Liebknecht St., Yekaterinburg 620075, Russia, m-ivaivanova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7158-9321>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.07.2021; одобрена после рецензирования 02.05.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 05.07.2021; approved after reviewing on 02.05.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Физиолого-биохимические особенности сортов инжира (*Ficus carica* L.) коллекции Никитского ботанического сада

Е. Л. Шишкина¹, Е. В. Дунаевская², Р. А. Пилькевич², Н. Ю. Марчук²

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

² Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, Ялта, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Викторовна Дунаевская, agroecology2019@mail.ru

Актуальность. Выявление перспективных сортов *Ficus carica* L. с высоким содержанием БАВ в плодах и повышенной адаптивностью к дефициту влаги актуально для селекции и практического плодоводства в засушливых регионах.

Методы. Оценку засухоустойчивости и химический анализ инжира проводили по общепринятым методикам. Содержание эссенциальных элементов после сухого озоления определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант 2МТ».

Результаты. Плоды сорта 'Муасон' выделяются наибольшим содержанием сухого вещества ($26,60 \pm 1,30\%$), суммы фенольных соединений ($169,0 \pm 26,0$ мг%), сахаров (моно – $15,03 \pm 1,25\%$; сумма – $17,46 \pm 0,56\%$), водорастворимого пектина ($1,17\%$), суммы пектиновых веществ ($1,99\%$) и К (13565 ± 805 мг/кг); плоды 'Поморийского' – максимальным содержанием Са (532 ± 65 мг/кг), Mg (982 ± 121 мг/кг), Mn ($1,98 \pm 0,18$ мг/кг); 'Сабруция Розовой' – содержанием аскорбиновой кислоты ($17,32 \pm 0,78$ мг%), Fe ($15,4 \pm 2,0$ мг/кг), Zn ($10,7 \pm 1,4$ мг/кг) и Cu ($1,44 \pm 0,13$ мг/кг). Сорт 'Сабруция Розовая' обладает высокой устойчивостью к засухе, 'Поморийский' – средней степенью стойкости, 'Муасон' демонстрирует низкие показатели водного режима. Потеря листьями 15–20% влаги является критической, превышающее эту границу обезвоживание приводит к невозможности восстановления удовлетворительного тургора.

Заключение. Плоды изученных сортов инжира относятся к группе продуктов с высоким содержанием К и Mg, и удовлетворительным содержанием Fe, Zn и Mn. Выделен потенциально адаптивный, устойчивый к гидротермическому стрессу сорт 'Сабруция Розовая', обладающий повышенными водоудерживающими силами и высокой репарационной способностью тканей листьев, который рекомендуется для использования в селекционной работе на засухоустойчивость и создания промышленных насаждений в засушливых регионах.

Ключевые слова: сорт, водный режим, засухоустойчивость, сахара, пектиновые вещества, фенольные соединения, макро- и микроэлементы

Благодарности: работа выполнена по Программе № 14-50-00079, поддержанной Российским научным фондом: «Сохранение и изучение растительного генофонда Никитского ботанического сада и разработка способов получения высокопродуктивных сортов и форм садовых культур для юга России методами классической и молекулярной селекции, биотехнологии и биоинженерии»; направление: «Генофонд плодовых культур».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Шишкина Е.Л., Дунаевская Е.В., Пилькевич Р.А., Марчук Н.Ю. Физиолого-биохимические особенности сортов инжира (*Ficus carica* L.) коллекции Никитского ботанического сада. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):97-106. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-97-106

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-97-106

Physiological and biochemical features of fig cultivars (*Ficus carica* L.) from the collection of the Nikita Botanical Gardens

Elena L. Shishkina¹, Elena V. Dunaevskaya², Ruslana A. Pilkevich², Nadezhda Yu. Marchuk²¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia² Nikita Botanical Gardens – National Research Center, Yalta, Russia**Corresponding author:** Elena V. Dunaevskaya, agroecology2019@mail.ru

Background. Identification of promising fig cultivars (*Ficus carica* L.) with high content of bioactive compounds in fruits and increased adaptability to moisture deficiency is important for breeding and fruit growing in arid regions.

Methods. The chemical analysis of fruits was performed using conventional methods. The content of essential elements was measured on a Kvant 2MT atomic absorption spectrophotometer. Drought resistance was assessed using the method of determining the water-holding capacity and resistance to dehydration in the leaves of fruit crops.

Results. Fruits of cv. 'Muason' demonstrated the highest dry matter content ($26.60 \pm 1.30\%$), total phenolic compounds (169.0 ± 26.0 mg%), sugars (mono: $15.03 \pm 1.25\%$, and total: $17.46 \pm 0.56\%$), water-soluble pectin (1.17%), total pectin substances (1.99%), and K (13565 ± 805 mg/kg); fruits of cv. 'Pomoriysky' had the maximum content of Ca (532 ± 65 mg/kg), Mg (982 ± 121 mg/kg), and Mn (1.98 ± 0.182 mg/kg); 'Sabrutsiya Rozovaya' excelled in the content of ascorbic acid (17.32 ± 0.78 mg%), Fe (15.413 ± 1.989 mg/kg), Zn (10.688 ± 1.338 mg/kg), and Cu (1.435 ± 0.132 mg/kg). 'Sabrutsiya Rozovaya' showed high drought resistance, 'Pomoriysky' had a medium degree of resistance, while 'Muason' demonstrated low water regime values. The loss of 15–20% of moisture by the leaves is critical: dehydration exceeding this limit leads to the impossibility of restoring satisfactory turgor.

Conclusion. Fruits of the studied fig cultivars belong to the group of products with high K and Mg content, and satisfactory content of Fe, Zn and Mn. 'Sabrutsiya Rozovaya', a potentially adaptable cultivar with resistance to hydrothermal stress, was identified for its increased water-retaining capacities and high reparative ability of leaf tissues. It is recommended for use in the breeding for drought resistance and for establishment of large-scale plantations in arid regions.

Keywords: cultivar, water regime, drought resistance, sugars, pectin substances, phenolic compounds, macro- and micronutrients

Acknowledgements: the work was carried out under Program No. 14-50-00079 supported by the Russian Science Foundation: "Preservation and study of the plant genetic diversity at the Nikita Botanical Gardens and development of methods for obtaining highly productive cultivars and forms of horticultural crops for the south of Russia by methods of classical and molecular breeding, biotechnology and bioengineering"; Direction: "Genetic diversity of fruit crops".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shishkina E.L., Dunaevskaya E.V., Pilkevich R.A., Marchuk N.Yu. Physiological and biochemical features of fig cultivars (*Ficus carica* L.) from the collection of the Nikita Botanical Gardens. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):97-106. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-97-106

Введение

Основным направлением селекции плодовых культур в Никитском саду является создание сортов с высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ), с повышенной устойчивостью к засухе и высокой урожайностью (Kharchenko et al., 2021).

БАВ, в том числе витамины, фенольные соединения, пектиновые вещества и эссенциальные макро- и микроэлементы, необходимы для здоровья и долголетия человека (Skalny, Rudakov, 2004; MR 2.3.1.2432-08..., 2009; Khadhraoui et al., 2019).

Одной из плодовых культур, с древнейших времен используемых человечеством, является инжир (*Ficus carica* L.). Плоды инжира в свежем и сушеном виде издавна потребляются в субтропических странах, где считаются основным средством питания наравне с виноградом и маслиной (Trichoroulou et al., 2006; Slavin, 2006). Они отличаются приятным вкусом, высокой калорийностью и диетическими свойствами, являются отличным сырьем для консервной промышленности (Arvaniti et al., 2019). К достоинствам инжира также следует отнести нетребовательность к почвам и уходу (Novitskaya et al., 2019).

В Никитском ботаническом саду уже с первых лет его существования усилиями многих поколений ученых создавалась коллекция *F. carica*, представленная большим разнообразием сортов. Основной ассортимент инжира (180 сортов и форм) интродуцирован в сад в 1929–1937 гг. куратором коллекции Н. К. Арендт (Arendt, 1972a). Лучшие сорта были использованы в селекционной работе по созданию генотипов с повышенной адаптивностью и ценными хозяйственными признаками; к ним относится 'Сабруция Розовая'.

В последние годы на Южном берегу Крыма (ЮБК) в летний период наблюдается существенное снижение количества осадков, увеличение дней с высокими температурами, иссушающими ветрами, проявлением почвенной и воздушной засух. По расчетам С. П. Корсаковой, будущее изменение климата свидетельствует об ожидаемом увеличении на ЮБК числа и повторяемости засух (Korsakova, 2018).

У инжира, как и у других плодовых культур, в период высоких температур воздуха и дефицита влаги (особенно июль – август) наблюдается преждевременное пожелтение и опадение листьев, потеря тургора, уменьшение массы плода, что приводит не только к снижению качества плодовой продукции, но и к значительным потерям урожая. Поэтому с учетом изменяющегося климата и дефицита водных ресурсов при закладке плодовых насаждений нужно руководствоваться не только рентабельностью сорта, вкусовыми качествами плодов, содержанием в них БАВ, но и его засухоустойчивостью. Особенно для практического плодоводства важны исследования по выявлению перспективных генотипов с высокой способностью адаптации к дефициту влаги.

Цель работы – на основе физиолого-биохимических показателей (засухоустойчивости и содержания БАВ в плодах) выявить сорта *F. carica* для успешного возделывания в регионах с засушливым субтропическим климатом и дальнейшего селекционного процесса.

Материалы и методы

Исследования проводили в течение 2015–2018 гг. на базе коллекционных насаждений Никитского ботанического сада – Национального научного центра. Для физиолого-биохимической оценки были отобраны наиболее распространенные сорта инжира, выделенные по комплексу хозяйственно ценных признаков (Marchuk et al., 2017). В качестве объектов исследований послужили три сорта инжира: 'Поморийский', 'Сабруция Розовая' и 'Муасон' 1989 года посадки. Сорта выделяются хорошим качеством плодов и высокой урожайностью (Shishkina, 2021).

Оценку засухоустойчивости проводили по методике определения водоудерживающей способности и стойкости к обезвоживанию листьев плодовых культур (Lishchuk, 1991). Пробы отбирали в августе, после установления засушливого периода.

В плодах инжира определяли содержание сухих веществ, аскорбиновой кислоты, титруемых кислот, лейкоантоцианов, флавонолов, суммарное содержание фенольных веществ, сахаров и пектиновых веществ, а также семи эссенциальных (жизненно необходимых для человека) элементов: калия (K), кальция (Ca), магния (Mg), железа (Fe), цинка (Zn), меди (Cu) и марганца (Mn).

Для анализа отбирали зрелые плоды инжира второй генерации. Первичное сортоизучение проводили согласно методическим указаниям Н. К. Арендт (Arendt, 1972b). Химический анализ плодов проводили по общепринятым методикам: содержание сухих веществ определяли по ГОСТ 28562, аскорбиновой кислоты – йодометрическим титрованием, титруемых кислот – по ГОСТ 25555.0, лейкоантоцианов – фотометрическим методом после их окисления в антоцианы, флавонолов – спектрофотометрически с использованием хлористого алюминия в присутствии избытка уксуснокислого натрия. Суммарное содержание фенольных веществ определяли колориметрическим методом с использованием реактива Фолина – Чокальтеу (Pleshkov, 1985; State Standards..., 2002). Содержание моно- и дисахаридов определяли фотометрически в водных вытяжках с использованием реактива Феллинга, содержание пектинов определяли фотометрическим методом с использованием тимола в водных вытяжках гомогената, предварительно отмытого спиртом от моно- и дисахаридов (State Standards..., 2002).

Анализ минерального состава плодов проводили методом сухого озоления (GOST 26929-94..., 1996). В полученном солянокислом растворе на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант 2МТ» (GOST 30178-96..., 1998) определяли содержание семи эссенциальных элементов: в режиме эмиссии – калий, в режиме абсорбции – кальций, магний, железо, марганец, медь и цинк. Полученные данные сравнивали с утвержденными диетологией нормами суточной потребности человека в макро- и микроэлементах, представленными от минимально необходимой (min НСПЧ) до максимально допустимой (max НСПЧ) (Skalny, 2004).

Статистическая обработка данных осуществлена с использованием программ Statistica 6.0 и Microsoft Office Excel.

Сорт 'Поморийский' получен из Болгарии (рис. 1.1). Самоплодный, с двумя урожаями. Деревья сильноорослые, с округлой редкой кроной. Плоды второй генерации крупные, массой 60–70 г, узко-грушевидные, асимметричные, с толстыми шейками на очень коротких ножках. Кожица светло-оливковая с буроватым загаром в верхней части плода. Глазок небольшой, с розовыми чешуйками. Плодоложе зеленовато-белое, мякоть темно-карминовая. Созревание с конца августа.

Сорт 'Муасон' (син. 'Grosse Violette de Bordeaux', 'Фиолетовый из Бордо') получен в 1821 г. из Франции (рис. 1.2).

Самоплодный, с двумя урожаями. Деревья сильнорослые, с округлой, расширяющейся книзу кроной. Плоды второй генерации грушевидно-продолговатые, массой 30–40 г. Кожица темно-синяя, плодоложе розовато-кремовое, мякоть вишнево-красная. Плоды универсального назначения. Созревание с первой декады сентября.

Сорт 'Сабруция Розовая' селекции Никитского сада (оригинатор Н. К. Арендт) (рис. 1.3). Самобесплодный, с одним урожаем.

Деревья невысокие, с сильными толстыми ветвями и широкоокруглой, раскидистой кроной. Плоды крупные или очень крупные (масса плода 80–100 г), удлинено-грушевидные, сидячие или с короткими толстыми шейками, на небольших плодоножках. Кожица светло-оливковая, розовая с коричнево-красным налетом. Глазок маленький, закрытый. Плодоложе светло-желтое, мякоть розовая, маслянистая, без полости. Плоды столового назначения. Начало созревания с конца августа.

Результаты и обсуждение

В период исследования полив на участке отсутствовал, и влагообеспеченность растений определялась только атмосферными осадками. Оценка засухоустойчивости была проведена в августе 2015–2018 гг. В предыдущие годы в это же время можно было наблюдать преждевременное пожелтение и опадение листьев. В условиях дефицита влаги на деревьях инжира отсутствует прирост, уменьшается масса плодов, снижается урожайность, часто наблюдается закивание плодов (Chernobay, Shishkina, 2021) (рис. 2).

В августе оводненность листьев изучаемых сортов инжира в зависимости от погодных условий колеблется в пределах 58,3–70,0%, что составляет 80,5–98,5% оптимальной влагоемкости (табл. 1). Показатели реального водного дефицита в листьях в различные годы варьируют от 5,5 до 10,0%.



1

2

3

Рис. 1. Плоды трех сортов инжира коллекции Никитского ботанического сада:

1 – 'Поморийский'; 2 – 'Муасон'; 3 – 'Сабруция Розовая'

Fig. 1. Fruits of three fig cultivars from the collection of the Nikita Botanical Gardens:

1 – 'Pomoriyskiy'; 2 – 'Muason'; 3 – 'Sabrutsiya Rozovaya'



Рис. 2. Состояние растений в августе 2016 г. в условиях дефицита влаги (Никитский ботанический сад; фото Е. Л. Шишкиной)

Fig. 2. The state of plants in August 2016 under moisture deficiency (Nikita Botanical Gardens, photo by E. L. Shishkina)

Таблица 1. Водоудерживающая и репарационная способность листьев инжира в августе 2015–2018 гг. (Никитский ботанический сад)**Table 1.** Water-retaining ability and reparative capacity of leaves in fig cultivars in August 2015–2018 (Nikita Botanical Gardens)

Сорт / Cultivar	Содержание воды в листьях, % на сырую массу / Water content in leaves, % wet weight	Содержание воды в листьях, полное насыщение, % / Full water saturation of leaves, % wet weight	Водный дефицит в листьях, % / Water deficiency in leaves, %	Утрачено воды в процессе увядания, % / Water loss in the process of withering, %					Листья, восст. тургор, % / Leaves that restored turgor, %
				1 час / 1 hour	2 час / 2 hour	3 час / 3 hour	5 час / 5 hour	7 час / 7 hour	
Август 2015 г. / August 2015									
Муасон / Muason	66,9	68,2	6,7	13,8	26,6	35,5	41,9	*	72
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	67,5	72,3	7,4	8,8	21,9	26,2	33,5	*	97
Поморийский / Pomoriyskiy	68,4	73,0	5,4	11,7	24,6	32,6	39,2	*	85
Август 2016 г. / August 2016									
Муасон / Muason	67,1	68,7	6,9	16,5	31,7	37,0	45,8	*	60
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	70,0	72,0	9,0	14,0	24,1	27,5	34,2	*	90
Поморийский / Ро- moriyskiy	68,8	70,3	7,2	15,3	24,6	30,9	35,6	*	80
Август 2017 г. / August 2017									
Муасон / Muason	58,3	71,7	8,0	19,7	26,9	33,4	45,0	48,5	25
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	58,4	72,6	6,6	12,0	17,7	21,0	27,4	29,6	95
Поморийский / Ро- moriyskiy	61,0	67,6	9,4	15,6	24,2	33,0	41,7	44,2	55
Август 2018 г. / August 2018									
Муасон / Muason	67,8	70,0	9,2	14,1	27,3	36,4	40,4	*	56
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	68,3	69,3	8,8	8,4	12,8	15,5	23,0	31,8	98
Поморийский / Pomoriyskiy	66,7	70,4	10,0	11,8	21,3	33,4	40,9	*	74

* – завядание прекращено

* – withering has stopped

Водоудерживающая способность тканей листьев дает возможность оценить потенциал растений противостоять действию обезвоживающих факторов. Эксперименты с контролируемым завяданием показали, что листья инжира уже в первые часы теряют значительное количество влаги. Установлено, что потеря листьями 15–20% влаги является критической, после чего невозможно восстановление полного тургора тканей листьев.

Наиболее высокими водоудерживающими силами отличался сорт 'Сабруция Розовая'. Ткани его листьев относительно экономно расходовали влагу, предотвра-

щая чрезмерное обезвоживание, благодаря чему после потери 30–35% восстанавливали практически полный тургор (90–98%). Среднюю водоудерживающую способность продемонстрировал сорт 'Поморийский' – после потери не более 40% влаги уровень репарации в большинстве случаев являлся удовлетворительным (75–85%). Сравнительно низкую устойчивость и нестабильность в условиях водного стресса проявил сорт 'Муасон'. Быстрая водоотдача листьями этого сорта в процессе завядания в отдельные годы приводила к утрате до 50% влаги, и в результате необратимых повреждений гибель тканей достигала 75%.

Одним из важнейших направлений селекции инжира является получение сортов с высоким содержанием БАВ, в частности эссенциальных элементов (Dunaevskaya, Shishkina, 2019).

Из трех изученных сортов наибольший процент сухого вещества наблюдался в плодах инжира 'Муасон' (табл. 2.А), что соответствует литературным данным (Al-Nameedawi, 2015) и объясняет давнее использование плодов данного сорта в первую очередь для сушки.

По данным ряда авторов (Solomon et al., 2006; Bachir Bey, Louaileche, 2015), сорта инжира с темной кожицей содержат более высокие уровни полифенолов, антоцианов и флавоноидов по сравнению с разновидностями инжира со светлой кожицей, что обуславливает их повышенную антиоксидантную активность. Плоды сорта 'Муасон' выделяются высоким содержанием лейкоантоцианов и особенно антоцианов, входящих в группу флавоноидов (см. табл. 2.А). Флавоноиды проявляют в организме антиоксидантную, бактерицидную, гипотензивную, противовоспалительную, противораковую, противомолочную, противомикробную и спазмолитическую активность (Minaeva, 1978). Доказано, что регулярное потребление этих соединений приводит к достоверному снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (Mawa et al., 2013).

Рекомендуемые уровни потребления: для взрослых – 250 мг/сут., для детей 7–18 лет – от 150 до 250 мг/сут. (Skurikhin, Tutelyan, 2002; MR 2.3.1.2432-08..., 2009).

Значительно повышает ценность плодов наличие аскорбиновой кислоты, необходимой для нормального функционирования соединительной и костной ткани, также антиоксиданта. Аскорбиновая кислота участвует в окислительно-восстановительных процессах организма, регулирует обмен веществ, в том числе липидный, влияет на состояние крови (Solomon et al., 2006; Mawa et al., 2013). По содержанию аскорбиновой кислоты выделяются плоды 'Сабруция Розовая': на 6,2% больше, чем у сорта 'Муасон', и на 18% – чем у 'Поморийского' (см. табл. 2.А). Уточненная физиологическая потребность в витамине С для взрослых – 90 мг в сутки, для детей – от 30 до 90 мг/сут. (Skurikhin, Tutelyan, 2002; MR 2.3.1.2432-08..., 2009).

По мнению В.Т. Гогия, содержание пектиновых веществ – один из важных показателей качества плодов инжира (Gogiya, 1984). Пектиновые вещества защищают организм человека от радиоактивных и ядовитых веществ, проникающих с пищей и водой; выводят излишнее количество холестерина, играя важную роль в профилактике атеросклероза (Mawa et al., 2013).

Содержание пектиновых веществ в плодах сортов 'Поморийский' и 'Сабруция Розовая' практически одинаковое (табл. 2.В). В инжире 'Муасон' доля водорастворимого пектина выше в 1,23 и 1,26 раза соответственно, а доля суммы пектиновых веществ – в 1,39 и 1,74 раза.

По содержанию сахаров также выделяется сорт 'Муасон' (см. табл. 2.В), однако, учитывая содержание титруемых кислот, в его плодах самый низкий сахарокислотный коэффициент – 43,65. По данному показателю (отношение суммы сахаров к титруемым кислотам) лидирует сорт 'Сабруция Розовая' с крупными сладкими плодами – 89,13.

Учитывая все вышеизложенное, плоды сорта 'Муасон' могут служить высококачественным сырьем для создания продуктов функционального назначения (Starostenko, Belokurova, 2015; Khadhraoui et al., 2019).

По данным А.С. Ивановой, инжир превосходит многие плодовые культуры, выращиваемые в Никитском ботаническом саду, по содержанию минеральных элементов и выделяется высоким содержанием калия (Ivanova, 1982). По нашим данным, содержание калия было от двух максимальных норм суточной потребности человека (max НСПЧ) в плодах сорта 'Сабруция Розовая' и до 4,6 max НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' (рис. 3, а). Следует учитывать, что по данным профессора А.В. Скального, НСПЧ зависит от возраста, пола, физиологического состояния и физической активности человека (Skalny, Rudakov, 2004).

Содержание кальция в исследованных образцах варьирует от 0,4 min НСПЧ (минимальных норм) в плодах сорта 'Муасон' до 1 min НСПЧ в плодах сорта 'Поморийский' (рис. 3, б). Между накоплением К и Са в плодах исследуемых сортов инжира установлена статистически

Таблица 2.А. Биохимические показатели плодов инжира за 2015–2018 гг. (Никитский ботанический сад)

Table 2.A. Biochemical parameters of fig fruits for 2015–2018 (Nikita Botanical Gardens)

Сорт / Cultivar	Сухое вещество, % / Dry matter, %	Аскорбиновая кислота, мг% / Ascorbic acid, mg%	Флавоноиды, мг% / Flavonoids, mg%	Титруемая кислотность, % / Titratable acidity, %	Лейкоантоцианы, мг% / Leucoanthocyanidins, mg%	Антоцианы, мг% / Anthocyanidins, mg%	Сумма фенольных веществ, мг% / Phenolic compounds, mg%
Поморийский / Pomoriyskiy	23,03* ± 1,58**	14,17 ± 0,09	7,35 ± 0,55	0,28 ± 0,05	50,0 ± 5,0	41,5 ± 3,5	126,00 ± 12,0
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	20,52 ± 1,92	17,32 ± 0,78	12,15 ± 0,65	0,16 ± 0,01	62,0 ± 4,0	44,0 ± 0,0	79,00 ± 4,0
Муасон / Muason	26,60 ± 1,30	16,24 ± 0,1	17,9 ± 0,00	0,40 ± 0,06	64,0 ± 8,0	291,5 ± 16,5	169,0 ± 26,0

* – среднее по годам; ** – стандартная ошибка

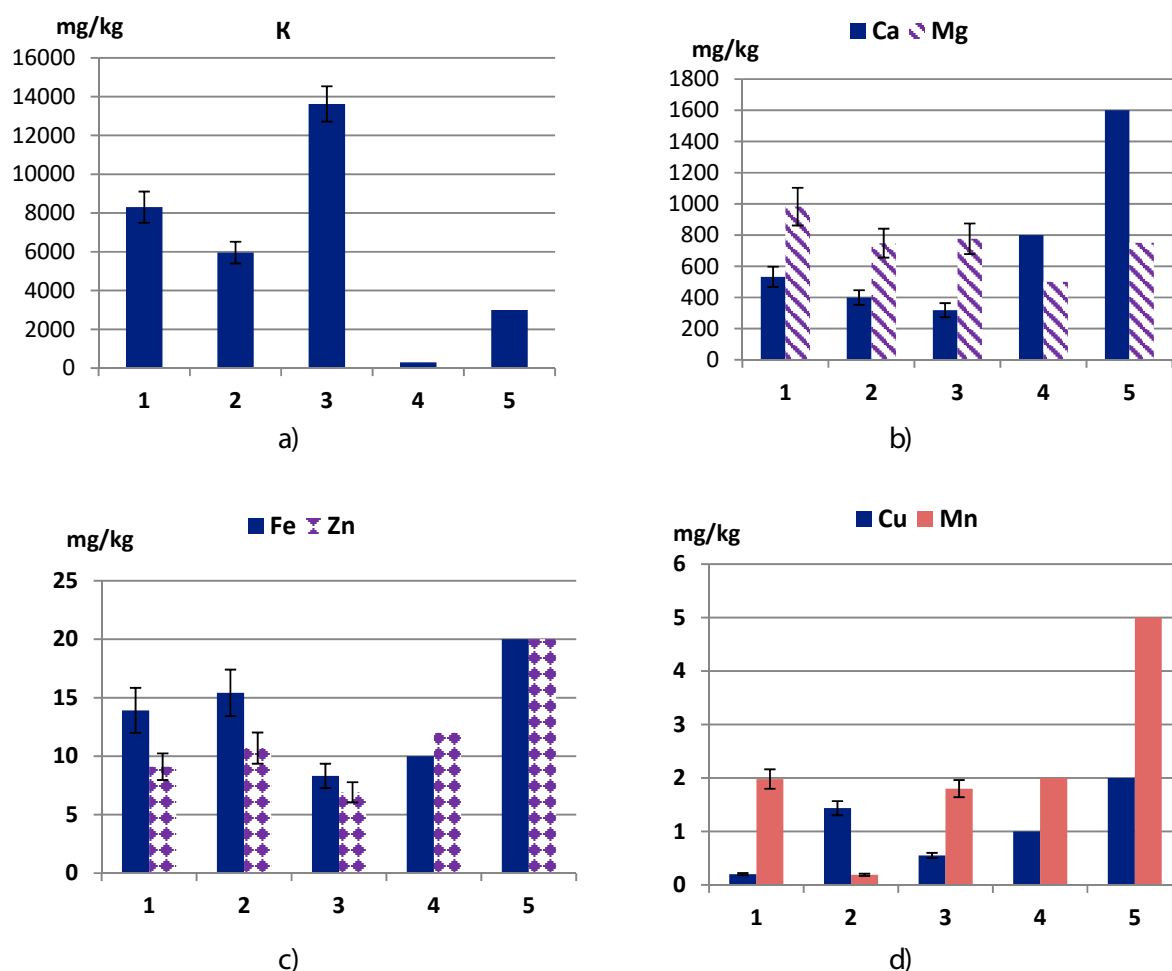
* – mean value by years; ** – standard error

Таблица 2.В. Биохимические показатели плодов инжира за 2015–2018 гг. (Никитский ботанический сад)**Table 2.B. Biochemical parameters of fig fruits for 2015–2018 (Nikita Botanical Gardens)**

Сорт / Cultivar	Сахара, % / Sugars, %		Водораствори- мый пектин, % / Water-soluble pectin, %	Протопектин, % / Protopectin, %	Сумма пектино- вых веществ, % / Total pectins, %
	Моно / Mono-	Сумма / Total			
Поморийский / Pomoriyskiy	14,2* ± 1,98**	15,72 ± 1,16	0,95 ± 0,09	0,46 ± 0,03	1,41 ± 0,06
Сабруция Розовая / Sabrutsiya Rozovaya	12,44 ± 0,74	14,26 ± 0,48	0,93 ± 0,09	0,50 ± 0,04	1,43 ± 0,07
Муасон / Muason	15,03 ± 1,25	17,46 ± 0,56	1,17 ± 0,11	0,82 ± 0,07	1,99 ± 0,09

* – среднее по годам; ** – стандартная ошибка

* – mean value by years; ** – standard error

**Рис. 3. Содержание эссенциальных элементов (мг/кг) в плодах инжира коллекции Никитского сада:**

1 – сорт 'Поморийский'; 2 – сорт 'Сабруция Розовая'; 3 – сорт 'Муасон'; 4 – min НСПЧ – минимальная норма суточной потребности человека в элементе; 5 – max НСПЧ – максимальная норма; а) содержание калия;

б) содержание кальция и магния; в) содержание железа и цинка; г) содержание меди и марганца

Fig. 3. The content of essential elements (mg/kg) in fig fruits from the collection of the Nikita Botanical Gardens:

1 – cv. 'Pomoriyskiy'; 2 – cv. 'Sabrutsiya Rozovaya'; 3 – cv. 'Muason'; 4 – minimum norm of human daily intake of the element; 5 – maximum norm of human daily intake of the element; а) potassium content; б) calcium and magnesium content;

в) iron and zinc content; г) copper and manganese content

достоверная тесная связь: $r = 0.85$, здесь и далее $n = 24$, $p < 0.05$.

Магния в плодах содержится от 1,5 min НСПЧ ('Сабруция Розовая' и 'Муасон') до 1,4 max НСПЧ в плодах сорта 'Поморийский'. Статистически значимых взаимосвязей между содержанием в инжире Mg и других катионов исследуемых металлов не обнаружено.

По нормам РФ (Skurikhin, Tutelyan, 2002) плоды исследуемых сортов инжира относятся к группе продуктов с высоким содержанием K и Mg (более 10% суточной потребности в 100 г продукта). Особенно важно потребление продуктов с высоким содержанием калия и магния для поддержания сердечно-сосудистой и нервной систем организма, поскольку в период пандемии COVID-19 усилились стрессовые реакции населения, значительно повысился уровень тревожности и депрессии.

Содержание железа варьирует от 0,8 min НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' до 1,5 min НСПЧ в плодах сорта 'Сабруция Розовая' (рис. 3, с) и достоверно ($p < 0.05$) находится в обратной зависимости от содержания K ($r = -0.99$) и Ca ($r = -0.92$).

Накопление цинка в исследованных образцах происходит аналогично накоплению железа ($r = 0.88$, $n = 24$, $p < 0.05$): от минимального (0,6 min НСПЧ) в плодах сорта 'Муасон' до максимального (0,9 min НСПЧ) в плодах сорта 'Сабруция Розовая' (рис. 3, с). При этом выявлена обратная зависимость от содержания K ($r = -0.80$) и Ca ($r = -0.98$).

Следует отметить существенную роль цинка в формировании иммунитета: низкий уровень цинка в организме приводит к более высокой вероятности заболевания пневмонией и инфекциями верхних дыхательных путей (Borisov, 2018).

Медь в исследуемых образцах инжира накапливается аналогично кальцию: от 0,5 min НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' до 1 max (2 min) НСПЧ в плодах сорта 'Поморийский' (рис. 3, d). Как и в случае с магнием, статистически значимых взаимосвязей между содержанием Cu и других катионов исследуемых металлов в плодах трех сортов инжира не обнаружено.

Содержание марганца в исследованных образцах – от 0,1 min НСПЧ в плодах сорта 'Сабруция Розовая' до 0,9 min НСПЧ в плодах сорта 'Муасон' (рис. 3, d). При этом наблюдается тесная корреляция с содержанием K ($r = 0.90$, $n = 24$, $p < 0.05$) и обратная корреляция с накоплением Fe ($r = -0.94$) и Zn ($r = -0.96$).

Заключение

Таким образом, плоды инжира изученных сортов по нормам РФ относятся к группе продуктов с высоким содержанием K и Mg, и удовлетворительным содержанием Fe и Zn, а плоды сортов 'Поморийский' и 'Муасон' – еще и Mn.

Сорт 'Муасон' выделяется наибольшим содержанием сухого вещества – $26,60 \pm 1,30\%$, суммы фенольных соединений – $169,00 \pm 26,00$ мг%, сахаров (моно – $15,03 \pm 1,25\%$; сумма – $17,46 \pm 0,56\%$), водорастворимого пектина – $1,17 \pm 0,11\%$ и суммы пектиновых веществ – $1,99 \pm 0,09\%$, K – 13565 ± 805 мг/кг;

сорт 'Поморийский' – максимальным содержанием Ca – 532 ± 65 мг/кг, Mg – 982 ± 121 мг/кг и Mn – $1,98 \pm 0,182$ мг/кг;

сорт 'Сабруция Розовая' – наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты – $17,32 \pm 0,78$ мг%, Fe – $15,4 \pm 2,0$, Zn – $10,7 \pm 1,4$ и Cu – $1,4 \pm 0,13$ мг/кг.

Поскольку плоды исследуемых сортов инжира содержат комплекс БАВ, включающий пектиновые вещества, фенольные соединения и эссенциальные элементы, они могут служить высококачественным сырьем для продуктов функционального назначения.

На основании исследования физиологических показателей выявлены характерные особенности водного режима и уровень адаптивности трех сортов *F. carica* в условиях воздействия засушливых факторов. Сорт 'Поморийский' обладает средней степенью стойкости к обезвоживанию, а 'Муасон' демонстрирует низкие показатели вододерживающих сил и неудовлетворительный уровень репарации. Выделен потенциально адаптивный, устойчивый к засухе сорт селекции Никитского ботанического сада 'Сабруция Розовая', обладающий высокой степенью гидротермической устойчивости благодаря повышенной способности удерживать влагу в условиях водного стресса и высоким репарационным возможностям после глубокого увядания. Данный генотип можно рекомендовать для селекции с целью создания новых гибридных засухоустойчивых форм и внедрения в регионы с недостаточной водообеспеченностью.

References / Литература

- Al-Hameedawi A.M.S. Evaluating some characters of leaves, physical and quality fruits of three fig, *Ficus carica* L., cultivars of second crop that harvested at two maturity stages. *Theoretical and Applied Science*. 2015;3(23):171-175. DOI: 10.15863/tas.2015.03.23.29
- Arendt N.K. Fig cultivars (Sorta inzhira). *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada = Proceedings of the Nikita Botanical Gardens*. 1972a;(56):5-233. [in Russian] (Арендт Н.К. Сорта инжира. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 1972a;(56):5-233). URL: https://drive.google.com/file/d/1xqdp6vshAx8GLcWfKHM4x60_m_yph0Eu/view [дата обращения: 11.04.2022].
- Arendt N.K. Primary comparative study of fig cultivars: Guidelines (Pervichnoye sravnitelnoye izucheniye sortov inzhira: Metodicheskiye ukazaniya). Yalta; 1972. [in Russian] (Арендт Н.К. Первичное сравнительное изучение сортов инжира: Методические указания. Ялта; 1972b).
- Arvaniti O.S., Samaras Y., Gatidou G., Thomaidis N.S., Stasinakis A.S. Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*. 2019;119:244-267. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.01.055
- Bachir Bey M., Louaileche H. A comparative study of phytochemical profile and in vitro antioxidant activities of dark and light dried fig (*Ficus carica* L.) varieties. *The Journal of Phytopharmacology*. 2015;4(1):41-48. DOI: 10.31254/phyto.2015.4108
- Borisov V.V. Microelements selenium and zinc in female and male body: problems and solutions. *Consilium Medicum*. 2018 20(7):63-68. [in Russian] (Борисов В.В. Микроэлементы селен и цинк в организме женщины и мужчины: проблемы и решения. *Consilium Medicum*. 2018;20(7):63-68). DOI: 10.26442/2075-1753.2018.7.63-68
- Chernobay I., Shishkina E. Determination of drought resistance of fig and jujube cultivars according to leaf dehydration. *Acta Horticulturae*. 2021;1324:401-406. DOI: 10.17660/actahortic.2021.1324.62
- Dunaevskaya E.V., Shishkina E.L. Content of essential elements in fig fruits of foreign selection cultivars. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation*. 2019;(150):50-58.

- [in Russian] (Дунаевская Е.В., Шишкина Е.Л. Содержание эссенциальных элементов в плодах инжира сортов иностранной селекции. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2019;(150):50-58). DOI: 10.36305/2019-1-150-50-58
- Gogiya V.T. Biochemistry of subtropical plants (Biokhimiya subtropicheskikh rasteniy). Moscow: Kolos; 1984. [in Russian] (Гогия В.Т. Биохимия субтропических растений. Москва: Колос; 1984).
- GOST 26929-94. Raw material and food-stuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements. Moscow: Standartinform; 1996. [in Russian] (ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Москва: Стандартинформ; 1996). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827602.pdf> [дата обращения: 04.04.2022].
- GOST 30178-96. Raw material and food-stuffs. Atomic absorption method for determination of toxic elements. Moscow: Standartinform; 1998. [in Russian] (ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. Москва: Стандартинформ; 1998). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294825/4294825120.htm> [дата обращения: 04.04.2022].
- Ivanova A.S. Comparative characteristics of the qualitative composition of the fruits of some stone fruit and subtropical crops (Srvnitelnaya kharakteristika kachestvennogo sostava plodov nekotorykh kostochkovykh i subtropicheskikh kultur). *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 1982;(47):93-98. [in Russian] (Иванова А.С. Сравнительная характеристика качественного состава плодов некоторых косточковых и субтропических культур. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 1982;47:93-98).
- Khadhraoui M., Bagues M., Artés F., Ferchichi A. Phytochemical content, antioxidant potential, and fatty acid composition of dried Tunisian fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2019;92:143-150. DOI: 10.5073/JABFQ.2019.092.020
- Kharchenko A.A., Smykov A.V., Melkozerova E.A. Content of biologically active substances in fruits of certain varieties and forms of figs from the collection of the Nikitsk Botanical Garden. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2021;(92):190-195. [in Russian] (Харченко А.А., Смыков А.В., Мелкозёрова Е.А. Содержание биологически активных веществ в плодах некоторых сортов и форм инжира из коллекции Никитского ботанического сада. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021;(92):190-195). DOI: 10.21515/1999-1703-92-190-195
- Korsakova S.P. The evaluation of future climate change in the Southern coast of the Crimea. *Ekosistemy = Ecosystems*. 2018;15(45):151-165. [in Russian] (Корсакова С.П. Оценка будущих изменений климата на Южном берегу Крыма. *Экосистемы*. 2018;15(45):151-165).
- Lishchuk A.I. Physiological and biophysical methods in fruit crop breeding. Guidelines (Fiziologicheskiye i biofizicheskiye metody v seleksii plodovykh kultur. Metodicheskiye rekomendatsii). Moscow; 1991. [in Russian] (Лещук А.И. Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур. Методические рекомендации. Москва; 1991).
- Marchuk N., Dunaevskaya E., Shishkina E. The content of biologically active substances in the figs of two varieties in the collection of Nikitsky Botanical Gardens. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2017;125:97-103. [in Russian] (Марчук Н.Ю., Дунаевская Е.В., Шишкина Е.Л. Содержание биологически активных веществ в плодах двух сортов инжира коллекции Никитского ботанического сада. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2017;125:97-103).
- Mawa S., Husain K., Jantan I. *Ficus carica* L. (Moraceae): phytochemistry, traditional uses and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2013;2013:974256. DOI: 10.1155/2013/974256
- Minaeva V.G. Flavonoids in plant ontogenesis and their practical use (Flavonoidy v ontogeneze rasteniy i ikh prakticheskoye ispolzovaniye). Novosibirsk: Nauka; 1978. [in Russian] (Минаева В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование. Новосибирск: Наука; 1978).
- MR 2.3.1.2432-08. Rational nutrition. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines. Moscow: Rospotrebnadzor; 2009. [in Russian] (МР 2.3.1.2432-08. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. Москва: Роспотребнадзор; 2009). URL: https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=4583 [дата обращения: 12.04.2022].
- Novitskaya A.P., Opanasenko N.E. *Ficus carica* L. on terraced agro-brown soils of the Southern Coast of the Crimea. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2019;(133):216-224. [in Russian] (Новицкая А.П., Опанасенко Н.Е. Инжир (*Ficus carica* L.) на агрокоричневых террасированных почвах Южного берега Крыма. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019;(133):216-224). DOI: 10.36305/0513-1634-2019-133-216-224
- Pleshkov B.P. Workshop on plant biochemistry (Praktikum po biokhimmii rasteniy). Moscow: Kolos; 1985. [in Russian] (Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос; 1985).
- Shishkina E. Gene pool collection of *Ficus carica* L. and principal breeding directions. *Acta Horticulturae*. 2021;1315:195-200. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1315.30
- Skalny A.V., Rudakov I.F. Bioelements in medicine (Bioelementy v meditsine). Moscow: Oniks 21 vek, Mir; 2004. [in Russian] (Скальный А.В., Рудаков И.Ф. Биоэлементы в медицине. Москва: Оникс 21 век, Мир; 2004).
- Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. (eds). Chemical composition of Russian food products: a reference book (Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov: Spravochnik). Moscow: DeLi print; 2002. [in Russian] (Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. Москва: ДеЛи принт; 2002).
- Slavin J.L. Figs: past, present, and future. *Nutrition Today*. 2006;41(4):180-184. DOI: 10.1097/00017285-200607000-00009
- Solomon A., Golubowicz S., Yablowicz Z., Grossman S., Bergman M., Gottlieb H.E. et al. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Agricultural and Food Chemistry*. 2006;54(20):7717-7723. DOI: 10.1021/jf060497h
- Starostenko I.E.H., Belokurova E.S. Products of fruits and vegetables – sources of functional ingredients in baby food. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa = Technical and Technological Problems of Services*. 2015;3(33):24-27. [in

Russian] (Старостенко И.Э., Белокурова Е.С. Продукты переработки плодов и овощей – источники функциональных ингредиентов в детском питании. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2015;3(33):24-27). State Standards. Products of fruit and vegetable processing. Methods of analysis. Official edition (Gosudarstvennye standarty. Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody analiza. Izdaniye ofitsialnoye). Moscow: IPK Izdatelstvo standartov; 2002. [in Russian] (Государственные

стандарты. Продукты переработки плодов и овощей. Методы анализа. Издание официальное. Москва: ИПК Издательство стандартов; 2002). URL: <http://gostbank.metaltorg.ru/data/8978.pdf> [дата обращения: 12.04.2022].

Trichopoulou A., Vasilopoulou E., Georga K., Soukara S., Dilis V. Traditional foods: Why and how to sustain them. *Trends in Food Science and Technology*. 2006;17(9):498-504. DOI: 10.1016/j.tifs.2006.03.005

Информация об авторах

Елена Леонидовна Шишкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 295007 Россия, Республика Крым, Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4; schischkina.el2012@yandex.com, <https://orcid.org/0000-0003-0509-3990>

Елена Викторовна Дунаевская, научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, agroecology2019@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4507-7944>

Руслана Адольфовна Пилькевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, pilkevich-r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-4514>

Надежда Юрьевна Марчук, научный сотрудник, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, 298648 Россия, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52, neka-m@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7955-3999>

Information about the authors

Elena L. Shishkina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol 295007, Republic of Crimea, Russia, schischkina.el2012@yandex.com, <https://orcid.org/0000-0003-0509-3990>

Elena V. Dunaevskaya, Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, agroecology2019@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4507-7944>

Ruslana A. Pilkevich, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, pilkevich-r@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4079-4514>

Nadezhda Y. Marchuk, Researcher, Nikita Botanical Gardens – National Research Center, 52 Nikitsky Spusk, Nikita, Yalta 298648, Republic of Crimea, Russia, neka-m@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7955-3999>

Вклад авторов: Е.Л. Шишкина – 20%; Е.В. Дунаевская – 40%; Р.А. Пилькевич – 20%; Н.Ю. Марчук – 20%.

Contribution of the authors: E.L. Shishkina: 20%; E.V. Dunaevskaya: 40%; R.A. Pilkevich: 20%; N.Yu. Marchuk: 20%.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.04.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 08.04.2022; approved after reviewing on 18.05.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 635.21:631.811
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-107-114



Оценка селекционных сортов картофеля по ценным агрономическим признакам в условиях Мурманской области

Т. Э. Жигадло

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, Апатиты, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Эдуардовна Жигадло, Hibinytanya@rambler.ru

Актуальность. Главная задача Полярной опытной станции – поддержание и сохранение мировой коллекции картофеля ВИР. Коллекция пополняется за счет поступления новых селекционных сортов картофеля. Сорта изучаются по основным хозяйственно ценным признакам: раннеспелость, продуктивность, содержание крахмала в клубнях, устойчивость к вирусным и грибным заболеваниям. Сорта оцениваются в течение трех лет, затем переводятся в коллекцию поддержания.

Материалы и методы. Изучено 13 новых образцов картофеля из коллекции ВИР по ценным агрономическим признакам в экстремальных условиях Мурманской области в 2018–2020 гг. Исследование выполнено согласно методическим указаниям ВИР по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля.

Результаты и заключение. Проведенное исследование позволило охарактеризовать данную выборку образцов по фенологическим параметрам, раннеспелости, продуктивности, устойчивости к заболеваниям. Выделены образцы, превысившие стандарт ‘Хибинский ранний’ по ряду признаков. По продуктивности отмечены образцы к-25330, к-25327, к-25314; образец к-25311 выделен как раннеспелый, продуктивный, с высокой товарностью клубней; к-25302 отмечен по продуктивности в сочетании высокой товарностью клубней; к-25315 выделен по продуктивности в сочетании с высокой товарностью и крупностью клубней. По содержанию крахмала выделились образцы к-25330 и к-25327. Не поражались грибными болезнями следующие образцы картофеля: к-25258, к-25302, к-25311, к-25314, к-25339, к-25317. Не имели симптомов вирусных болезней: к-25311, к-25321, к-25327, к-25330, к-25336, к-25318. Выделенные образцы картофеля могут быть применены в качестве исходного материала для улучшения ценных агрономических признаков и селекции новых сортов картофеля для Мурманской области.

Ключевые слова: фенологические фазы, раннеспелость, продуктивность, устойчивость к болезням

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции» и при поддержке гранта РФФИ 17-29-08020.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Жигадло Т.Э. Оценка селекционных сортов картофеля по ценным агрономическим признакам в условиях Мурманской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):107-114. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-107-114

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-107-114

Evaluation of improved potato cultivars according to their agronomic traits under the conditions of Murmansk Province

Tatyana E. Zhigadlo

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station of VIR, Apatity, Russia***Corresponding author:** Tatyana E. Zhigadlo, Hibinytanya@rambler.ru

Background. The main objective of the Polar Experiment Station is to maintain and preserve the global potato collection of VIR. The collection is replenished with new improved potato cultivars. Their main agronomic traits are studied: earliness, productivity, starch content in tubers, resistance to viruses and fungi, etc. After three years of evaluation, cultivars are transferred to the maintenance collection.

Materials and methods. Thirteen new potato accessions from the VIR collection were studied in 2018–2020 for valuable agronomic traits under the extreme conditions of Murmansk Province using VIR's guidelines.

Results and conclusions. The study made it possible to characterize this set of accessions according to their phenological parameters, earliness, productivity, and disease resistance. Accessions that exceeded the reference ('Khibinskiy ranniy', k-6928) in a number of indicators were identified. Three accessions demonstrated the best productivity across the years of the study: k-25327 (local from Georgia), k-25330 ('KazSIP') and k-25314 ('Arizona'). Accession k-25311 ('Gornyak') was selected for earliness, productivity, and marketability of tubers; k-25302 ('Babayev') was identified for its productivity and high marketability of tubers; k-25302 ('Arrow') showed high productivity, high marketability of tubers, and large tuber size. The accessions selected for their starch content were k-25330 ('KazSIP') and k-25327 (local from Georgia). Six potato accessions were not affected by fungal diseases: k-25258 ('Sunkar'), k-25302 ('Babayev'), k-25311 ('Gornyak'), k-25314 ('Arizona'), k-25339 ('Bravo') and k-25317 ('B-O-E'). Symptoms of viral diseases were not found in k-25311 ('Gornyak'), k-25321 ('Labadia'), k-25327 (local from Georgia), k-25336 ('Ametist') and k-25318 ('Cogu Valley'). The results of the study made it possible to recommend them for new potato breeding programs in Murmansk Province.

Keywords: cultivars, phenological phases, earliness, productivity, disease resistance

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding" and supported by the grant from the Russian Foundation for Basic Research, No. 17-29-08020. The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zhigadlo T.E. Evaluation of improved potato cultivars according to their agronomic traits under the conditions of Murmansk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):107-114. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-107-114

Введение

Мировая дублетная коллекция селекционных сортов и гибридов картофеля ВИР в настоящее время насчитывает более 3000 образцов различных групп спелости и разнообразного географического происхождения. Коллекция находится на территории Полярной опытной станции – филиала ВИР (Мурманская обл., г. Апатиты).

Для Мурманской области характерны резко меняющиеся условия внешней среды с большой амплитудой колебаний среднесуточных температур воздуха. Снежный покров находится на полях обычно до третьей декады мая. Сумма эффективных среднесуточных температур воздуха варьирует от 548 до 1182°C, а количество осадков за вегетационный период – от 287,5 до 223,3 мм. Вегетационный период составляет всего 85–90 дней. Поэтому для данного региона большое значение имеют сорта картофеля, сочетающие раннее клубнеобразование со стабильной высокой продуктивностью (Fomina et al., 2012). Сорта картофеля для северных регионов должны принадлежать к ранней и среднеранней группам спелости. Сорта должны обладать высокой пластичностью, способностью за короткий период вегетации при пониженных температурах в условиях полярного дня стабильно формировать полноценный урожай, а также иметь хорошие вкусовые качества, быть устойчивыми к грибным и вирусным заболеваниям (Devyatkina et al., 2004).

Потребительские и технологические свойства картофеля имеют прямую зависимость от условий, агротехники возделывания, сортовых особенностей. Сорт картофеля, подобранный с учетом зоны и условий выращивания, является залогом высокого урожая. Начальный этап это-

го процесса – оценка исходного материала в полевых и лабораторных условиях (Kostina, Kosareva, 2015). Исходный материал ежегодно всесторонне исследуется в условиях экстремального климата Мурманской области. Перспективные сорта картофеля, выделенные по раннеспелости, продуктивности, устойчивости к заболеваниям, рекомендуются к возделыванию в Мурманском регионе (Zhigadlo, Travina, 2017).

Цель исследования – оценить новые сорта картофеля по комплексу хозяйственно ценных признаков в условиях Мурманской области.

Материалы и методы

Исследования проводились на экспериментальном поле Полярной опытной станции – филиала ВИР с 2018 по 2020 г. Объект исследования – картофель (*Solanum tuberosum* L.). Материалом изучения были образцы картофеля из пяти стран мира: Казахстана, Украины, России, Нидерландов, Грузии и Южной Кореи. Всего изучено 13 новых образцов картофеля (табл. 1), поступивших из отдела генетических ресурсов картофеля ВИР. В качестве стандарта (St.) был взят сорт местной селекции 'Хибинский ранний' (к-6928).

Агротехнику возделывания сортов картофеля осуществляли согласно рекомендациям, принятым для Мурманской области. Закладка опыта проведена согласно общепринятой полевой методике (Dospekhov, 1985). Почва опытного участка супесчаная, высоко окультуренная, содержание органического вещества – 8,7%, pH – 5,2, P₂O₅ – 103 мг/100 г, K₂O – 39,2 мг/100 почвы. Размер участка, занятого под коллекцию изучения, составил 0,05 га. Схема посадки – 70 × 30 см. Сорта высаживались

Таблица 1. Образцы картофеля, изученные в условиях Мурманской области России
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2018–2020 гг.)

Table 1. Potato accessions studied under the conditions of Murmansk Province, Russia
(Polar Experiment Station of VIR, 2018–2020)

№ по каталогу ВИР	Название сорта	Происхождение
6928	Хибинский ранний (St.)	РФ, Полярная ОС
25258	Сункар	Казахстан
25297	Dido	Нидерланды
25302	Бабаев	Казахстан
25311	Горняк	РФ, Кемеровский НИИСХ
25314	Arizona	Нидерланды
25315	Arrow	Нидерланды
25317	B-O-E	нет данных
25318	Cogu Valley	Южная Корея
25321	Labadia	Нидерланды
25327	Местный	Грузия
25330	КазСИП	Казахстан
25336	Аметист	ВНИИКС
25339	Браво	РФ, Уральский НИИСХ

на делянки в один ряд по 10 растений, через каждые 10 образцов располагался стандартный сорт 'Хибинский ранний'. Перед посадкой клубни проращивали на свету 40 дней при температуре +8...+14°C. Посадка и уборка коллекционных образцов осуществлялась вручную.

В течение вегетационного периода отмечали наступление фенофаз у растений каждого сорта (начало всходов, массовые всходы, бутонизацию, начало и массовое цветение, образование ягод). В фазу полных всходов, в фазах бутонизации и цветения визуально оценивали степень поражения растений вирусными болезнями. Скороспелость определяли путем выкапывания двух кустов на 60-й день от посадки. Продуктивность учитывали после окончательной уборки, оценивая вес клубней с одного куста, число товарных клубней, среднюю массу товарного клубня, товарность клубней. Урожай коллекционных образцов определяется в граммах на куст и сравнивается с урожаем сорта-стандарта. Содержание крахмала в клубнях определяли по удельному весу путем их взвешивания в воде с применением номограмм Эдгара и Назаренко. Степень поражаемости патогенами клубней и продолжительность периода покоя отмечали во время хранения. Оценка показателей проводилась по 9-балльной шкале от 1 до 9 в сторону усиления признака (Kuru et al., 2010).

Метеорологические параметры во время исследований способствовали возможности оценить данную выборку сортов в различных условиях среды (табл. 2).

биологических особенностей генотипа и адаптивной способности сорта к местным условиям произрастания. Из данной выборки образцов 'Горняк' способен давать стабильный урожай в ранние сроки (табл. 3).

В течение трех лет цветение отсутствовало у сорта 'Argow' (к-25315). Самое продолжительное и обильное цветение наблюдали у сорта 'Аметист' (10 дней, балл цветения – 9). У сортов картофеля в годы изучения не наблюдалось стабильного ягодообразования, только сорт-стандарт 'Хибинский ранний' формировал ягоды в течение трех лет. Два сорта 'Argow' и Местный из Грузии (к-25327) не образовывали ягод в течение всего периода изучения. Сорта картофеля 'Бабаев' (к-25302), 'КазСІП' (к-25330), 'Браво' (к-25339), 'В-О-Е' (к-25317), 'Labadia' (к-25321) формировали ягоды в течение двух лет – в 2018 и 2020 г., когда метеословия в Мурманской области были более благоприятными для ягодообразования (рис. 1). Оценка – 5 баллов (до 10 шт.).

Урожайность – основной оценочный критерий при изучении сортов картофеля. Для неблагоприятных условий Севера РФ важным показателем является скороспелость сорта. Скороспелость образцов оценивали по способности формировать хозяйственно значимый урожай в ранние сроки (на 60-й день от посадки). Продуктивность на момент пробной копки в годы изучения варьировала. Средняя продуктивность зафиксирована в пределах 150,0–658,3 г с куста (рис. 2, см. табл. 3). По раннеспелости нами выделен сорт 'Горняк', который превышает

Таблица 2. Агрометеорологические параметры вегетационных периодов
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2018–2020 гг.)

Table 2. Agrometeorological data of the growing seasons
(Polar Experiment Station of VIR, 2018–2020)

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °C				Сумма осадков, мм			
	2018	2019	2020	средняя многолетняя	2018	2019	2020	средняя многолетняя
Июнь	10,5	10,2	11,3	10,5	64,5	41,3	70,1	51,0
Июль	18,9	13,7	15,2	14,1	18,9	19,7	76,6	64,0
Август	13,3	12,1	11,2	11,8	51,4	71,8	73,5	64,0

Период вегетации 2018 г. характеризовался как теплый и сухой (ТГК = 0,9), в 2019 г. вегетационный период был прохладным и влажным (ТГК = 1,1), а вегетационный период 2020 г. – теплым и более влажным (ТГК = 1,9).

Результаты и обсуждение

Анализ фенологических наблюдений за три года исследований показал, что у образцов коллекции появление «всходов» в среднем наблюдали на 13-й день от посадки, «массовых всходов» – на 17-й день от посадки, фазу «бутонизации» – на 37-й день, «цветение» и «массовое цветение» было зарегистрировано на 51-й и 55-й день соответственно. Ягодообразование было отмечено на 59-й день от посадки.

Самые короткие сроки прохождения всех фенологических фаз отметили у сортов 'Горняк' (к-25311), 'Аметист' (к-25336) и у сорта-стандарта 'Хибинский Ранний'. В условиях Севера РФ быстрое прохождение фенофаз не всегда связано с ранней урожайностью, не каждый сорт картофеля способен реализовать свой потенциал в силу

ет стандартный сорт 'Хибинский ранний' по продуктивности на 21% (оценка сорта – 7 баллов).

На момент окончательной уборки (90-й день от посадки) средняя продуктивность образцов коллекции за годы изучения составила 763,6 г с куста. Минимальная продуктивность за три года исследований отмечена у сорта 'Cogu Valley' (к-25318) – 295,8 г с куста (или 1,3 кг/м²), а максимальная – у сорта 'Горняк', составившая 1055,0 г с куста (4,8 кг/м²). Превышение стандарта по продуктивности (7 баллов, или 102–134% к стандарту) за годы изучения отметили у образцов: 'Бабаев', 'Горняк', Местный из Грузии, 'КазСІП', 'Argow' и 'Arizona' (к-25314) (рис. 3, см. табл. 3).

Сорт 'Бабаев' выделен по продуктивности и высокой товарности клубней (91%). Образец 'Argow' отмечен по крупноклубневости (средняя масса товарного клубня – 141,6 г с оценкой 9 баллов) с высокой товарностью клубней (91%). Все сорта в годы изучения характеризовались ровными, без дефектов клубнями. Исключение составляет сорт 'Dido' (к-25297), у которого наблюдали трещины на клубнях во все годы изучения.

Таблица 3. Характеристика выделенных коллекционных образцов картофеля
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2018–2020 гг.)

Table 3. Agronomic characteristics of the identified potato accessions
(Polar Experiment Station of VIR, 2018–2020)

№ по каталогу ВИР	Название сорта	Пробная копка				Окончательная уборка					
		% к St	г/куст общий	кг/м ²	Товарность, %	% к St	г/куст общий	кг/м ²	Товарность, %	Средний вес товарного клубня	Крахмал, %
6928	Хибинский ранний (St.)	100	543,0	3,0	77,0	100	790,0	3,3	89,0	115,4	12,4
25311	Горняк	121	658,3	3,0	76,0	134	1055,0	4,8	89,0	115,4	11,0
25314	Arizona	92	500,0	2,3	73,0	129	1022,5	4,6	89,0	117,3	11,2
25327	Местный из Грузии	93	505,0	2,3	62,0	118	933,8	4,2	75,0	79,2	14,1
25330	КазСИП	99	540,0	2,4	68,0	113	892,9	4,0	89,0	90,9	14,7
25315	Arrow	84	456,7	2,0	78,0	107	846,3	3,8	91,0	141,6	9,6
25345	Бабаев	96	521,7	2,3	73,0	102	805,0	3,6	91,0	123,2	12,2



Рис. 1. Ягоды сорта 'Labadia' (Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2020 г.)

Fig. 1. Fruits of cv. 'Labadia' (Polar Experiment Station of VIR, 2020)

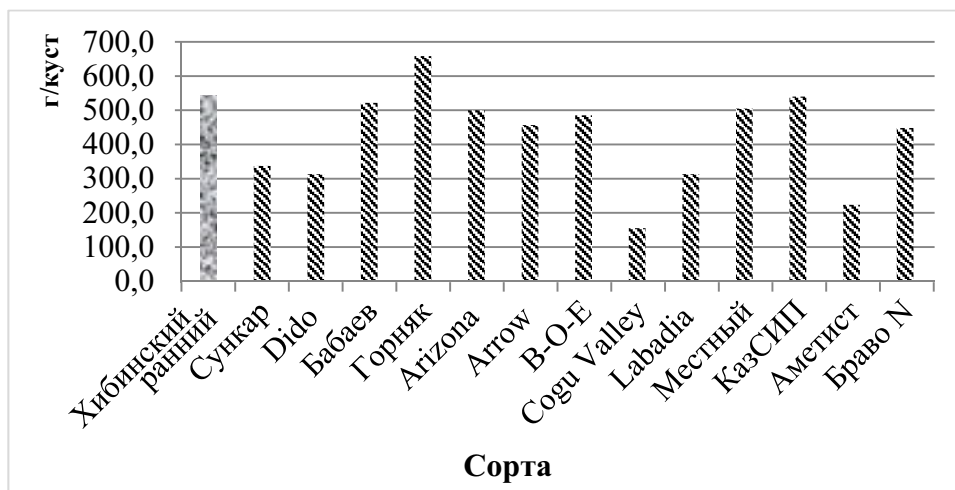


Рис. 2. Продуктивность сортов картофеля на 60-й день после посадки
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2018–2020 гг.)

Fig. 2. Productivity of potato cultivars on the 60th day after planting
(Polar Experiment Station of VIR, 2018–2020)

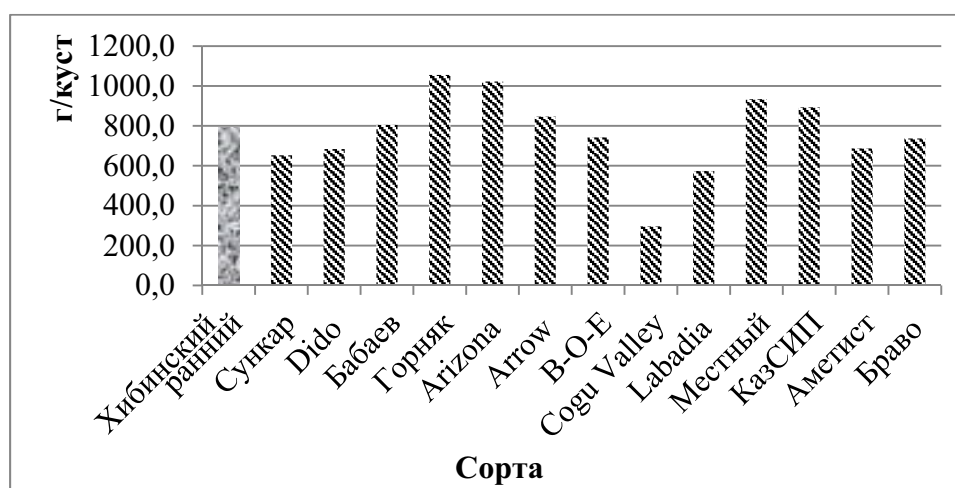


Рис. 3. Продуктивность сортов картофеля на 90-й день после посадки
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2018–2020 гг.)

Fig. 3. Productivity of potato cultivars on the 90th day after planting
(Polar Experiment Station of VIR, 2018–2020)

Сравнительно низкая температура воздуха в период вегетации растений картофеля в Мурманской области ограничивает накопление крахмала в клубнях. Из данной выборки выделены сорта со средним содержанием крахмала: Местный из Грузии (14,1%) и 'КазСИП' (14,7%). Оценка сортов по данному показателю – 5 баллов. Сорта с высоким содержанием крахмала (18,1–24,0%) в изучаемой группе не было.

В полевых условиях была проведена визуальная оценка поражаемости сортов картофеля вирусными заболеваниями, такими как обыкновенная мозаика, морщинистая мозаика, мозаичное закручивание листьев и другие. Сорта картофеля: 'Горняк', 'Labadia', Местный из Грузии, 'КазСИП', 'Амелист', 'Cogu Valley' (к-25318) не имели симптомов вирусных заболеваний в течение трех лет

изучения. Оценка сортов – 9 баллов (табл. 4). Их можно считать относительно устойчивыми к вирусам, но в дальнейшем требуются лабораторные методы оценки устойчивости к вирусам у этих сортов. В годы изучения во время хранения картофеля на клубнях сортов 'Сункар' (к-25258), 'Бабаев', 'Горняк', 'Arizona', 'B-O-E', 'Браво' отсутствовали симптомы (9 баллов) ооспороза, фомоза, ризиктомиоза и парши обыкновенной (см. табл. 4).

Продолжительность биологического покоя клубней – важный показатель для установления сроков зимнего хранения и для использования в двуурожайной культуре. Прорастание клубней у данной выборки сортов отметили в основном через пять месяцев хранения (7 баллов – длинный период покоя), что свидетельствует о хорошей сохранности образцов коллекции.

Таблица 4. Степень поражения сортов картофеля болезнями и их биологический период покоя клубней
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2018–2020 гг.)

Table 4. Disease infection scores of potato cultivars and duration of their tuber dormancy period
(Polar Experiment Station of VIR, 2018–2020)

№ по каталогу ВИР	Название сорта	Устойчивость к болезням хранения, балл				Вирусы			Период покоя, балл
		ооспороз	ризоктониоз	парша	фомоз	Y	M	L	
6928	Хибинский ранний (St.)	9	9	9	9	8*	9	9	7
25258	Сункар	9	9	9	9	8	9	9	7
25297	Dido	8	9	8	9	9	8	9	7
25345	Бабаев	9	9	9	9	6*	8	6	7
25311	Горняк	9	9	9	9	9	9	9	7
25314	Arizona	9	9	9	9	8	4*	9	7
25315	Arrow	8	9	9	9	9	9	8	7
25317	B-O-E	9	9	9	9	9	8	8	7
25318	Cogu Valley	9	9	7	9	9	9	9	6
25321	Labadia	8	9	8	9	9	9	9	7
25327	Местный из Грузии	8	9	8	9	9	9	9	7
25330	КазСИП	8	9	9	9	9	9	9	6
25336	Аметист	9	9	7	9	9	9	9	6
25339	Браво	9	9	9	9	9	7	9	7

Примечание: * – усредненный балл за три года

Note: * – are scores averaged for three years

Заключение

Опытные поля Полярной опытной станции – филиала ВИР (Мурманская обл., г. Апатиты) относятся к зоне экстремального земледелия. Тем не менее картофель может адаптироваться к местным условиям произрастания (короткий вегетационный период, прохладное лето, полярный день). Трехлетнее изучение позволило выделить образцы картофеля по ряду ценных признаков:

‘Аметист’ (к-25336) – быстрое прохождение фенофаз, обильное цветение, относительная устойчивость к вирусам;

‘Горняк’ (к-25311) – быстрое прохождение фенофаз, раннеспелость в сочетании с продуктивностью, комплексная устойчивость к болезням;

‘Бабаев’ (к-25302) – ягодообразование, продуктивность, высокая товарность клубней, устойчивость к болезням хранения;

‘Arrow’ (к-25315) – продуктивность, крупность и высокая товарность клубней;

Местный из Грузии (к-25327) – продуктивность, содержание крахмала, устойчивость к вирусам;

‘КазСИП’ (к-25330) – ягодообразование, продуктивность, содержание крахмала, относительная устойчивость к вирусам;

‘Arizona’ (к-25314) – продуктивность, устойчивость к грибным заболеваниям;

‘Labadia’ (к-25321) – ягодообразование, устойчивость к вирусам;

‘B-O-E’ (к-25317), ‘Браво’ (к-25339) – ягодообразование, устойчивость к грибным заболеваниям;

‘Сункар’ (к-25258) – устойчивость к грибным болезням;

‘Cogu Valley’ (к-25318) – относительная устойчивость к вирусам.

Выделенный исходный материал может быть рекомендован для будущего использования в селекционных программах, направленных на создание новых сортов картофеля.

References / Литература

- Devyatkina N.N., Kiru S.D., Vasilyeva E.M., Kuznetsova E.V. The study of potato varieties in the conditions of Murmansk Province (Izucheniye sortov kartofelya v usloviyakh Murmanskoy oblasti). In: *Crop Production in the European North: Status and Prospects. Proceedings of the International School-Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Department of Agronomy and Soil Science; Petrozavodsk; November 24–26, 2004 (Rastenyevodstvo na Yevropeyskom severe: sostoyaniye i perspektivy. Materialy mezhdunarodnoy shkoly-konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu kafedry agronomii i pochvovedeniya; Petrozavodsk; 24–26 noyabrya 2004 g.)*. Petrozavodsk:

- Petrozavodsk State University; 2004. p.41-44. [in Russian] (Девяткина Н.Н., Киру С.Д., Васильева Е.М., Кузнецова Е.В. Изучение сортов картофеля в условиях Мурманской области. В кн.: *Растениеводство на Европейском Севере: Состояние и перспективы. Материалы Международной школы-конференции, посвященной 50-летию кафедры агрономии и почвоведения, Петрозаводск; 24–26 ноября 2004 г.* Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет; 2004. С.41-44).
- Dospekhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Fomina V.E., Travina S.N., Kirpicheva T.V. The ecological and geographical variability on yield of potato varieties. *Potato and Vegetables*. 2012;(8):7-8. [in Russian] (Фомина В.Е., Травина С.Н., Кирпичева Т.В. Эколого-географическая изменчивость продуктивности сортов картофеля. *Картофель и овощи*. 2012;(8):7-8).
- Kiru S.D., Kostina L.I., Truskinov E.V., Zoteyeva N.M., Rogozina E.V., Koroleva L.V., Fomina V.E., Palekha S.V., Kosareva O.S., Kirilov D.A. Guidelines for the maintenance and study of the global potato collection (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoy kollektsii kartofelya). St. Petersburg: VIR; 2010. [in Russian] (Киру С.Д., Костина Л.И., Трускинов Э.В., Зотеева Н.М., Рогозина Е.В., Королева Л.В., Фомина В.Е., Палеха С.В., Косарева О.С., Кирилов Д.А. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. Санкт-Петербург: ВИР; 2010).
- Kostina L.I., Kosareva O.S. Potato varieties promising for breeding targeted at commercial traits. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):59-67. [in Russian] (Костина Л.И., Косарева О.С. Сорта картофеля для селекции на хозяйственно-ценные признаки. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(1):59-67). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-59-67
- Zhigadlo T.E., Travina S.N. Catalogue of the VIR global collection. Issue 852. Early-ripening potato cultivars suitable for cultivation in Murmansk Province (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 852. Rannespelye sorta kartofelya, prigodnye dlya vozdelvaniya v Murmanskoy oblasti). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Жигаadlo Т.Э., Травина С.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 852. Раннеспелые сорта картофеля, пригодные для возделывания в Мурманской области. Санкт Петербург: ВИР; 2017).

Информация об авторе

Татьяна Эдуардовна Жигаadlo, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 184209 Россия, Мурманская обл., Апатиты, ул. Козлова, 2а, Hibinytanya@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8605-0196>

Information about the author

Tatyana E. Zhigadlo, Researcher, N.I. Vavilov All-Russia Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station of VIR, 2a Kozlova St., Apatity, Murmansk Province 184209, Russia, Hibinytanya@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8605-0196>

Статья поступила в редакцию 02.06.2021; одобрена после рецензирования 14.01.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 02.06.2021; approved after reviewing on 14.01.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Исходный материал для селекции картофеля, полученный с использованием видов *Solanum* L.

Н. М. Зотеева¹, З. З. Евдокимова²

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха, Ленинградская область, Россия

Автор, ответственный за переписку: Надежда Мубаровна Зотеева, zoteyeva@rambler.ru

Актуальность. Фитофтороз, вызываемый оомицетом *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, является одной из наиболее вредоносных болезней картофеля. В Северо-Западном регионе РФ, где погодные условия благоприятны для распространения инфекции, возбудитель фитофтороза может вызывать значительные потери урожая этой культуры. Расширение генетического разнообразия исходного материала является одной из задач селекции картофеля, направленной на выведение сортов с устойчивостью к патогенам.

Материалы и методы. В полевых опытах оценивали устойчивость клонов межвидовых гибридов к фитофторозу, способность к формированию клубней и продуктивность в условиях продолжительного светового дня, а также ряд агрономических признаков, используя стандартные методы.

Результаты. В результате многолетних полевых наблюдений получены данные об устойчивости оригинальных межвидовых гибридов картофеля к фитофторозу. Гибриды также оценены по агрономическим характеристикам. Часть полученных межвидовых гибридов демонстрирует устойчивость к фитофторозу, урожайность и хорошую морфологию клубней. Выявлены комбинации скрещиваний, в которых гибридные клоны значительно превосходят по урожайности обоих родителей.

Заключение. Скрещивания сортов картофеля с разными источниками устойчивости к фитофторозу позволили объединить в гибридных клонах гены диких, культурных андийских видов и образцов *Solanum tuberosum* L. различного происхождения. Оригинальные межвидовые устойчивые к фитофторозу гибриды с хорошими агрономическими характеристиками клубней могут быть использованы в селекции картофеля.

Ключевые слова: виды картофеля, гибриды, устойчивость, фитофтороз, агрономические признаки

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции» и согласно тематическому плану ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха» по теме FZSW-2019-0011 «Фундаментальные основы управления селекционным процессом по созданию новых генотипов растений с высокими хозяйственно ценными признаками продуктивности, устойчивости к био- и абиострессам и получение сельскохозяйственных культур на основе современных методов диагностики и защиты растений, обеспечивающих получение высококачественного материала для условий Северо-Запада России».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Зотеева Н.М., Евдокимова З.З. Исходный материал для селекции картофеля, полученный с использованием видов *Solanum* L. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):115-121. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-115-121

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-115-121

Source material from crosses among *Solanum* L. spp. for potato breeding

Nadezhda M. Zoteyeva¹, Zinaida Z. Evdokimova²¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² Leningrad Research Agriculture Institute, Branch of Russian Potato Research Center, Leningrad Province, RussiaCorresponding author: Nadezhda M. Zoteyeva, zoteyeva@rambler.ru

Background. Late blight (agent: *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) is one of the most destructive diseases for potato. The climate conditions in the northwest of Russia are very favorable for annual late blight infestation. Spreading of the pathogen leads to significant harvest losses. A promising breeding strategy is to expand the genetic diversity of resistance sources.

Materials and methods. Resistance of experimental hybrid clones to late blight, their ability to form tubers under long daylight conditions, and a number of agronomic traits were studied using standard methods.

Results. Long-term evaluation data were obtained for original interspecies potato hybrids concerning their resistance to late blight. The hybrids were also assessed for their yield and agronomic tuber characteristics. Some of the produced interspecies hybrids demonstrated field resistance to late blight, high tuber yield, and good agronomic traits. Clones derived from some cross combinations significantly exceeded both parents in tuber yield per plant and tuber size.

Conclusions. Crosses between potato cultivars and various late blight resistance sources made it possible to combine in hybrid clones the genes of wild and cultivated Andean species and *Solanum tuberosum* L. with different pedigrees. Productive hybrid clones with resistance to late blight and good agronomic characteristics promise to become useful material for potato breeding programs.

Keywords: potato species, hybrids, resistance, late blight, agronomic traits

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0004 "Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, and development of technologies for their effective utilization in plant breeding", and within the framework of the State Task according to the theme plan of the A.G. Lorch Russian Potato Research Center, Theme FZSW-2019-0011 "Fundamental principles of the breeding process management aimed at the development of new plant genotypes with high economically valuable traits of productivity and resistance to bio and abiotic stressors, and the production of crops based on modern methods of diagnostics and plant protection, ensuring the production of high-quality material for the conditions of the Northwest of Russia".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zoteyeva N.M., Evdokimova Z.Z. Source material from crosses among *Solanum* L. spp. for potato breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):115-121. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-115-121

Введение

Учитывая значение картофеля как продовольственной культуры, выращиваемой в промышленных посадках и фермерских хозяйствах, исследования в области селекции этой культуры чрезвычайно важны. В условиях дефицита финансовых ресурсов на приобретение химических средств защиты растений от болезней и вредителей важно использовать разнообразные источники устойчивости к вредным организмам при создании широкой генетической базы для дальнейшей селекции. Большой ущерб урожаю картофеля наносит фитофтороз, вызываемый *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary (Haverkort et al., 2009). К середине 70-х гг. прошлого столетия одной из главных проблем селекции на устойчивость к фитофторозу стала узость генетического пула возделываемых сортов. Некоторые авторы справедливо полагают, что этот факт является причиной их низкой урожайности (Mendoza, Haynes, 1974; Plaisted, Hoopes, 1989). Повышение устойчивости растений картофеля к болезням часто основано на интрогрессии специфичных R-генов. Это направление селекции не приводит к долговременной устойчивости сортов из-за постоянных изменений структуры популяций возбудителя болезни. В то же время привнесение в один генотип устойчивости от образцов разных видов повышает вероятность достижения длительной устойчивости. Использование в качестве компонентов скрещиваний генетического материала, полученного с использованием разных видов *Solanum* L., позволяет получать перспективные родительские формы как с точки зрения устойчивости к болезням, так и качества клубней (Santini et al., 2000; Jansky et al., 2014). Ценными для селекции были признаны андийские культурные виды *S. tuberosum* subsp. *andigenum* Juz. et Buk. и *S. phureja* Juz. et Buk. (Tam, Tai, 1983; Haynes et al., 2019). Для достижения длительной устойчивости в сочетании с удовлетворительными агрономическими характеристиками такой исходный гибридный материал должен быть интрогрессирован в чувствительные к фитофторозу сорта.

Выведение фитофтороустойчивых сортов является целью многих исследовательских программ (Milczarek et al., 2017; Rogozina, Khavkin, 2017; Zimnoch-Guzowska, Flis, 2021). Для вовлечения в гибридизацию фитофтороустойчивого материала проводят полевую оценку в условиях высоких естественных инфекционных фонов (Plich, Tatarowska, 2017; Karki et al., 2021). Использование диких видов картофеля в гибридизации сопряжено с проявлением передаваемых ими нежелательных признаков: длинные столоны, мелкие неправильной формы клубни. Применение беккроссов с *S. tuberosum* приводит к снижению у потомств устойчивости к болезням, но улучшает потребительские свойства картофеля. Тем не менее поиск растений, сочетающих устойчивость с удовлетворительной продуктивностью, вполне возможен (Carputo et al., 2000). На урожайность таких гибридных клонов влияет затрудненное формирование клубней у диких видов картофеля в условиях продолжительного светового дня. Растения многих короткодневных видов совсем не формируют клубни в поле. В этой связи, при подборе родительских компонентов скрещиваний из числа диких видов, желательно выбирать образцы с нейтральной фотопериодической реакцией.

Целью исследования является изучение гибридных клонов для выделения материала с устойчивостью к фитофторозу, наблюдаемой в течение многолетних поле-

вых обследований, и способностью формировать удовлетворительное количество выровненных по размеру клубней правильной формы в условиях продолжительного светового дня.

Материал и методы

Материал

Материалом для исследования служили клоны межвидовых гибридов картофеля, полученные в результате скрещивания диких видов с образцами *S. tuberosum* и культурными южноамериканскими видами, используя их как в качестве материнских, так и отцовских родительских форм. Гибридные клоны изучены по числу, размеру и форме клубней, их выровненности по размеру, а также по массе с одного растения. Оригинальные гибриды получены ранее от скрещиваний, проведенных с участием фитофтороустойчивых образцов видов: *S. berthaultii* Hawk. (ber), *S. microdontum* Bitt. (mcd), *S. ruizceballosii* Card. (rzc), *S. guerreroense* Corr. (grr), *S. neoantipoviczii* Buk. (nan), а также образцов видов *S. kurtzianum* (ktz), *S. tarijense* Hawk. (tar), *S. tuberosum* subsp. *andigenum* Juz. et Buk. (adg) и *S. phureja* Juz. et Buk. (phu) с хорошей способностью репродуцировать клубни в условиях длинного светового дня.

Образец *S. tuberosum* subsp. *andigenum*, включенный в гибридизацию, оценивали по морфологии клубней и по устойчивости к фитофторозу. Часть клонов проявляла устойчивость к болезни клубней. Образец оказался высокополиморфным по размеру, форме клубней и окраске кожуры. Фертильность пыльцы высокая. Родительский образец *S. phureja* характеризовался умеренной устойчивостью к фитофторозу, стабильной клубневой репродукцией в поле и хорошими морфологическими признаками клубней. В скрещиваниях с сортом 'Аврора' образец использован в качестве опылителя.

В гибридизации также использованы сорта и селекционные клоны *S. tuberosum* (tub). Один из исходных родителей представлен селекционным клоном SW93-1015 из коллекции Университета по агрономическим исследованиям (SLU, Швеция) с высокой устойчивостью к фитофторозу (Ali et al., 2012; Zoteyeva et al., 2017a; Zoteyeva et al., 2017b).

Методы

В поле высаживали по 10 клубней каждого гибридного клона. В период вегетации оценивали устойчивость ботвы к фитофторозу методом, описанным М. Сieczka (2001). В послеуборочный период проводили оценку агрономических характеристик согласно методике Симакоса с соавторами (Simakov et al., 2006).

Гибридные клоны оценивали на естественном инфекционном фоне в 2015–2022 гг. в поле Ленинградского НИИХ «Белогорка» – филиала Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха (Ленинградская обл.) и на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, г. Пушкин), где климат способствует интенсивному распространению болезни, а популяции патогена характеризуются сложным составом генов вирулентности и наличием обоих типов совместимости (Vedenyapina et al., 2002). Представляется, что половой процесс воспроизводства патогена после появления на европейском континенте типа совместимости A2 происходит и до настоящего времени. Высокое разнообразие рас *P. infestans* в последнее время зарегистрировано в районе, граничащим с югом Ленинградской области

(Runno-Paurson et al., 2022). Степень развития симптомов болезни на растениях приведена на последнюю дату оценки по шкале 1–9 баллов, где балл 9 означает отсутствие симптомов болезни; баллы 8 и 7 – высокую устойчивость и соответствуют 3 и 10% площади поражения ботвы соответственно. Балл 6 (11–25%) означает умеренную устойчивость, балл 5 (26–75%) – умеренную чувствительность растений. Чувствительными считаются растения, устойчивость которых оценивается баллами от 4 до 1 (76–100% площади поражения).

использовании его в качестве материнской, так и отцовской формы. У этого гибрида определена стерильность пыльцы (Zoteyeva, Karabitsina, 2016). Большое число клубней с одного растения, превосходящее число клубней у обоих родителей, отмечено у гибридов, где материнскими формами были растения гибрида NZ2010-10nb и клон SW93-1015. Данные по числу сформированных клубней с одного растения и распределение их по размеру в популяциях части гибридов представлены в таблице.

Таблица. Число сформированных клубней и распределение по размеру в популяциях межвидовых гибридов картофеля (вторая клубневая репродукция)

Table. Number of the formed tubers and their distribution by size within the populations of interspecies potato hybrids (second tuber reproduction)

Гибрид	Изучено клонов (по 10 растений)	Число клубней, сформированных на 1 растении, распределение по размеру							Устойчивость к фитофторозу, средний балл за 5 лет
		Общее (в среднем на образец)	Max	Min	VL*	L	M	S	
grr** × Superb	20	14	22	8	–	–	4	10	8,2
SW93-1015 × ber	5	4,5	5	4	1,7	3,3	0	0	6,4
SW93-1015 × adg	12	19,3	34	11	0,5	10	7	1,8	7,5
NZ2010-10nb × (grr × Superb)	14	23,4	35	8	0	11	9	3	6,7
Аврора × phu	5	10,3	15	5	0	2	8,5	0	4,8
Аврора × rzc	4	12,5	16	9	0	0,5	8	2	6,6
(SW93-1015 × adg) × {nan × [(mcd × tar) × (grr × adg)]}	6	16,3	30	6	0	0,5	9	5,5	7,0
(SW93-1015 × adg) × Desirée	3	18,7	30	10	0	17	1,8	0	7,0
(grr × Superb) × Desirée	2	10	11	9	0	5,5	4	7,5	7,0
nan × [(mcd × tar) × (grr × adg)]	7	27,3	42	7	0	0,9	8,7	16,6	6,8

Примечание: * – Градация по размеру клубней: VL – очень крупные (свыше 90 г), L – крупные (51–90 г), M – средние (31–50 г), S – мелкие (30 г и ниже);

** – Аббревиатура видов приведена в разделе «Материал и методы»

Note: * – Gradation by tuber size: VL – very large (up to 90 g), L – large (51–90 g), M – medium (31–50 g), S – small (30 g and below);

** – Species abbreviations are given in the section *Material and methods*

Результаты и обсуждение

Полученные гибриды сильно различались по массе, числу клубней с одного растения (данные для части из них представлены в таблице), форме клубней и окраске кожуры. Первый гибрид с мексиканским видом *S. guergeroense* получили от скрещивания с сортом 'Superb'. Популяция гибрида grr × Superb расщеплялась по массе клубней и включала небольшую фракцию клубней среднего размера, часть из которых имела неправильную форму. Крупные немногочисленные клубни (от пяти до шести) формировал гибрид SW93-1015 × ber, скрещивания с которым были безуспешными как при

До 20 клубней на одном растении формировал гибрид Аврора × *S. phureja*. Он отличался выровненными по размеру и округлой правильной форме среднего размера клубнями с розовой окраской кожуры. В дальнейшем число клубней у этого гибрида варьировало в зависимости от года. Гибрид не скрещивался с тетраплоидными и диплоидными компонентами скрещиваний как при использовании его в качестве материнской, так и отцовской формы. Клубни мелкого размера имели гибриды grr × adg, Аврора × rzc и Аврора × nan. Ввиду высокой устойчивости образца *S. neoantipovicii* к Y вирусу картофеля он был включен в программу скрещиваний, невзирая на мелкий размер клубней у гибридов, получен-

ных с его участием. Была сделана попытка добиться более высокой массы клубней без потери фитофтороустойчивости при скрещивании сложного гибрида $\text{nan} \times [(\text{mcd} \times \text{tar}) \times (\text{grr} \times \text{adg})]$ с клоном гибрида SW93-1015 $\times$ adg с наиболее высокой массой клубней среди всех опытных гибридов. Однако, при сравнении с мелкоклубневым родителем, в популяции гибрида (SW93-1015 $\times$ adg) $\times$ {nan $\times$ [(mcd $\times$ tar) $\times$ (grr $\times$ adg)]} увеличилась лишь доля клонов со средней массой клубней и сохранились длинные столоны.

В то же время у гибридов, полученных с участием другого мексиканского короткодневного вида *S. guerreroense*, уже после одного-двух последовательных скрещиваний с *S. tuberosum* значительно возрастала масса клубней и компактность гнезда, а также улучшались их морфологические характеристики. Таким примером является гибрид, полученный от опыления пыльцой grr $\times$ Superb селекционного клона *S. tuberosum* NZ2010-10nb, который на высоком инфекционном фоне расщеплялся по устойчивости. Он стал успешным родителем гибридов, полученных далее в нескольких комбинациях скрещиваний с *S. tuberosum*. С использованием гибрида NZ2010-10nb $\times$ (grr $\times$ Superb) в качестве материнской формы были получены потомства от скрещиваний с сортом 'Campina' и селекционными клонами SW-0909005 и SW-0906512 (данные о гибридах не представлены в таблице). В условиях высокого инфекционного фона в расщепляющихся популяциях, наряду с сильно поражаемыми, встречались устойчивые растения (рисунок).

В результате последующих скрещиваний с сортами устойчивость в полученных гибридных популяциях снижалась по-разному. Наиболее заметно она снизилась у гибрида с сортом 'Campina'. Большая часть популяций гибридов с клонами SW-0909005 и SW-0906512 сохраняла устойчивость в условиях высокого естественного инфекционного фона (см. рисунок).

Клоны умеренно устойчивого продуктивного гибрида NZ2010-10nb $\times$ (*S. guerreroense* $\times$ Superb) не выровнены по размеру клубней. С целью устранения этого недостатка продолжены скрещивания с сортами, обладающими хорошими морфологическими признаками клубней. При попытке получить раннеспелые продуктивные клоны перспективным представляется потомство от опыления этого клона пыльцой сортов 'Балтийский' и 'Манифест'.

Для скрещиваний был отобран продуктивный фитофтороустойчивый клон гибрида NZ2010-10nb $\times$ (*S. guerreroense* $\times$ Superb) с крупными и среднего размера клубнями. Среднее число клубней с одного растения в разные годы колеблется от 23 до 30. Клон использовали в качестве материнской формы в скрещиваниях со среднеранними сортами 'Балтийский' и 'Манифест'. В результате скрещиваний большее число семян на одну ягоду получено в скрещиваниях с сортом 'Балтийский' (148,5), меньшее – в скрещиваниях с сортом 'Манифест' (65,6). В популяциях гибридных семян проведены отборы устойчивых к фитофторозу клонов с хорошими характеристиками клубней. В первый год изучения высажено



Рисунок. Популяция гибрида [NZ2010-10nb $\times$ (grr $\times$ Superb)] $\times$ SW-0909005, (2016 г, период уборки)

Figure. Population of the hybrid [NZ2010-10nb $\times$ (grr $\times$ Superb)] $\times$ SW-0909005 (2016, harvesting time)

120 семян гибрида [NZ2010-10nb × (*S. guerreroense* × *Superb*)] × Балтийский, из них отобрано 65. Среди 165 семян гибрида [NZ2010-10nb × (*S. guerreroense* × *Superb*)] × Манифест клубни отобраны у 42. В популяциях, представленных клонами первого клубневого поколения, отобрано 6 клонов гибрида с сортом 'Балтийский' и четыре клона гибрида с сортом 'Манифест'. В первой клубневой репродукции, полученной от комбинации скрещивания с сортом 'Балтийский', три клона характеризовались раннеспелостью, три клона проявили устойчивость к фитофторозу (6,8; 7; 7 баллов соответственно). Этот гибрид имел клубни округло-овальной формы, которые различались по цвету кожуры: желтой, красной и белой. Среди клонов гибрида с сортом 'Манифест' выделен один среднеспелый и три более поздних клона. Клубни с красной и желтой окраской кожуры характеризуются округлой и овальной формой. Два клона проявляли устойчивость к фитофторозу (7,0; 7,5 баллов соответственно), два остальных сильно поражались. Большинство отобранных клонов имели хорошие показатели по компактности гнезда, морфологическим признакам клубней, их выровненности по форме и размеру (от 4 до 5 баллов по пятибалльной шкале). По продуктивности оба гибрида сходны с родительскими сортами.

Современные программы селекции картофеля нацелены на выведение клонов, сочетающих устойчивость к вредным организмам с другими желательными агрономическими признаками.

Барьеры скрещиваемости части диких видов затрудняют их интенсивное использование в селекции. В наших предыдущих работах (Zoteyeva et al., 2017a) получены простые и сложные межвидовые гибриды картофеля. В гибридизацию были вовлечены устойчивые к фитофторозу виды Центральной и Южной Америки, в том числе ранее не использовавшиеся в практической селекции. В программу скрещиваний включены образцы диплоидных и тетраплоидных мексиканских и южноамериканских видов картофеля, проявляющих устойчивость к фитофторозу листьев и/или клубней (Zoteyeva et al., 2012). Некоторые гибридные клоны и потомства, полученные от скрещиваний с ними, проявляли высокую устойчивость к фитофторозу в полевых условиях при выращивании в Швеции и Ленинградской области РФ (Zoteyeva et al., 2017a, 2017b). Дальнейшее изучение их фитофтороустойчивости позволит оценить ее стабильность в течение долгосрочного периода.

Среди большого числа полученных гибридов в дальнейшую работу включены только немногие. Потомства от скрещиваний с диплоидными южноамериканскими видами – культурным *S. phureja* и диким боливийским *S. ruiz-ceballosii* – не проявляли высокой устойчивости к фитофторозу, не отличались продуктивностью и не участвовали в дальнейшей гибридизации. Гибриды с мексиканским фитофтороустойчивым видом *S. neoantipoviczii* не достигали удовлетворительного размера клубней и не отличались мощностью куста. В то же время растения гибридов с *S. guerreroense* имели мощный габитус растений. Растения гибридного потомства, полученного от скрещивания клона SW93-1015 с *S. tuberosum* subsp. *andigenum* и *S. berthaultii*, характеризуются размером клубней, значительно превосходящим массу клубней обоих родителей. Это может служить примером возможности проявления гетерозиса у картофеля и представлять интерес для исследований, направленных на создание гетерозисных гибридов культуры.

Заключение

В результате гибридизации с использованием диких и культурных видов картофеля, а также сортов и селекционных клонов *S. tuberosum* различного происхождения получены гибриды, сильно различающиеся по длине столонов, массе клубней, числу клубней с растения, выровненности их по размеру и форме. Гибриды от отдельных комбинаций скрещиваний значительно превосходили по урожайности обоих родителей. В большинстве расщепляющихся гибридных популяций преобладали растения с высокой устойчивостью к фитофторозу. Отобранные клоны ряда гибридов сочетают высокую полевую устойчивость к фитофторозу с хорошими агрономическими признаками клубней. С целью выведения устойчивых к фитофторозу раннеспелых клонов проводится гибридизация этого материала с отечественными сортами ранних сроков созревания.

References / Литература

- Ali A., Moushib L.I., Lenman M., Levander F., Olsson K., Carlson-Nilson U. et al. Paranoid potato: phytophthora-resistant genotype shows constitutively activated defense. *Plant Signaling and Behavior*. 2012;7(3):400-408. DOI: 10.4161/psb.19149
- Carpato D., Basile B., Cardi T., Frusciante L. *Erwinia* resistance in backcross progenies of *Solanum tuberosum*, *S. tarijense* and *S. tuberosum* (+) *S. commersonii* hybrids. *Potato Research*. 2000;43:135-142.
- Haverkort A.J., Struik P.C., Visser R.G.F., Jacobsen E. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *European Potato Journal*. 2009;52(3):249-264. DOI: 10.1007/s11540-009-9136-3
- Haynes K.G., Zotarelli L., Christensen C.T., Walker S. Early generation selection within a diploid hybrid *Solanum tuberosum* groups Phureja and Stenotomum population for the intense yellow-flesh cremer potato market. *HortScience*. 2019;54(12):2118-2124. DOI: 10.21273/hortsci13576-18
- Jansky S.H., Chung Y.S., Kittipaduka P. A diploid potato inbred line for use in breeding and genetics research. *Journal of Plant Registrations*. 2014;8(2):195-199. DOI: 10.3198/jpr2013.05.0024crg
- Karki H.S., Jansky S.H., Halterman D.A. Screening of wild potatoes identifies new sources of late blight resistance. *Plant Disease*. 2021;105(2):368-376. DOI: 10.1094/PDIS-06-20-1367-RE
- Mendoza H.A., Haynes F.L. Genetic basis of heterosis for yield in the autotetraploid potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 1974;45(1):21-25. DOI: 10.1007/BF00281169
- Milczarek D., Plich J., Tatarowska B., Flis B. Early selection of potato clones with resistance genes: the relationship between combined resistance and agronomical characteristics. *Breeding Science*. 2017;67(4):416-420. DOI: 10.1270/jsbbs.17035
- Plaisted R.L., Hoopes R.W. The past record and future prospects for the use of exotic potato germplasm. *American Potato Journal*. 1989;66(25):603-627. DOI: 10.1007/BF02853982
- Plich J., Tatarowska B. Field evaluation of potato resistance against *Phytophthora infestans* under natural infection pressure. *Plant Breeding and Seed Science*. 2017;76(1):25-28. DOI:10.1515/plass-2017-0017
- Rogozina E.V., Khavkin E.E. Interspecific potato hybrids as donors of durable resistance to pathogens. *Vavilov Jour-*

- nal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):30-41. [in Russian] (Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Межвидовые гибриды картофеля, как доноры долговременной устойчивости к патогенам. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):30-41). DOI: 10.18699/VJ17.221
- Runno-Paurson E., Agho C.A., Zoteyeva N., Koppel M., Hansen M., Hallikma T. et al. Highly diverse *Phytophthora infestans* populations infecting potato crops in Pskov region, North-West Russia. *Journal of Fungi*. 2022;8(5):472. DOI: 10.3390/jof8050472
- Santini M., Camadro E.L., Marcellan O.N., Erazzu L.E. Agromomic characterization of diploid hybrid families derived from crosses between haploids of the common potato and three wild Argentinean tuber-bearing species. *American Journal of Potato Research*. 2000;77:211-218. DOI: 10.1007/BF02855788
- Sieczka M. Ocena odpornosci na zaraze ziemniaka w warunkach naturalnej infekcji. *Monografie i Rozprawy Naukowe*. 2001;10:74-76. [in Polish]
- Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashina I.M. Guidelines for the potato breeding process technology (Metodicheskiye ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsesssa kartofelya). Moscow: Achievements of Science and Technology of AIC; 2006. [in Russian] (Симаков Е.А., Склярова Н.П., Яшина И.М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. Москва: Достижения науки и техники АПК; 2006).
- Tam T.R., Tai G.C. Tuberosum x Tuberosum and Tuberosum x Andigena potato hybrids: comparisons of families and parents, and breeding strategies for Andigena potatoes in long-day temperate environments. *Theoretical and Applied Genetics*. 1983;66(1):87-91. DOI: 10.1007/BF00281854
- Vedenyapina E.G., Zoteyeva N.M., Patrikeeva M.V. *Phytophthora infestans* in Leningrad region: virulence genes, compatibility types and oospore viability. *Mycology and Phytopathology*. 2002;36(6):77-85. [in Russian] (Веденяпина Е.Г., Зотеева Н.М., Патрикеева М.В. *Phytophthora infestans* в Ленинградской области: гены вирулентности, типы совместимости и жизнеспособность ооспор. *Микология и фитопатология*. 2002;36(6):77-85).
- Zimnoch-Guzowska E., Flis B. Over 50 years of potato parental line breeding program at the Plant Breeding and Acclimatization Institute in Poland. *Potato Research*. 2021;64(4):743-760. DOI: 10.1007/s11540-021-09503-2
- Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Apalikova O.V., Carlson-Nilsson U., Karabitsina Yu.I. et al. Facilitation of introgressive hybridization of wild polyploid Mexican potato species using DNA markers of R genes and of different cytoplasmic types. *Agricultural Biology*. 2017a;52(5):964-975. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.964eng
- Zoteyeva N.M., Carlson-Nilsson U., Bengtsson T., Olsson K., Ortiz R. Late blight and virus host-plant resistances, crossing ability and glycoalkaloids in Nordic potato germplasm. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B – Soil and Plant Science*. 2017b;67(7):1-9. DOI: 10.1080/09064710.2017.1324042
- Zoteyeva N.M., Chrzanowska M., Flis B., Zimnoch-Guzowska E. Resistance to pathogens of the potato accessions from the collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR). *American Journal of Potato Research*. 2012;89(4):277-293. DOI: 10.1007/s12230-012-9252-5
- Zoteyeva N.M., Karabitsina Yu.I. Late blight resistance of hybrids obtained in crosses of *Solanum tuberosum* L. with the Bolivian diploid potato species. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(4):114-121. [in Russian] (Зотеева Н.М., Карабицина Ю.И. Фитофтороустойчивость гибридов от скрещиваний *Solanum tuberosum* с диплоидными боливийскими видами картофеля. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(4):114-121). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-4-114-121

Информация об авторах

Надежда Мубаровна Зотеева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, zoteyeva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

Зинаида Захаровна Евдокимова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха, 188338 Ленинградская область, Гатчинский район, д. Белогорка, ул. Институтская, 1, lenniish@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2433-8052>

Information about the authors

Nadezhda M. Zoteyeva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, zoteyeva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

Zinaida Z. Evdokimova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Leningrad Research Agriculture Institute, Branch of Russian Potato Research Center, 1 Institutskaya St., Belogorka, Gatchinsky District, Leningrad Province 188338, Russia, lenniish@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2433-8052>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.06.2022; одобрена после рецензирования 17.08.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 18.06.2022; approved after reviewing on 17.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Сравнительный анализ кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области

И. В. Михайлова¹, А. Б. Хвостова¹, Л. Л. Малышев²

¹ Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, Апатиты, Россия

² Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Леонид Леонидович Малышев, l.malyshev@vir.nw.ru

Актуальность. Молочное животноводство – одно из главных направлений в аграрном секторе Мурманской области. Расширение ассортимента возделываемых бобовых кормовых культур и их сортов является одним из путей комплексного решения проблемы кормов на Кольском полуострове. Введение в практику кормопроизводства многолетних бобовых позволит снизить затраты на производство кормов и качественно их улучшить.

Материалы и методы. На Полярной ОС ВИР изучались козлятник восточный, люцерны изменчивая и серповидная (2005–2009 гг.), лядвенец рогатый (2006–2007 гг.), донник белый (2007–2008 гг.). Погодные условия в годы исследования различались по температурному и водному режимам. Наблюдения и учеты проводились согласно методическим указаниям ВИР. Статистическая обработка данных включала вычисление основных параметров варьирования и построение обобщенной линейной модели структуры дисперсии.

Результаты. В статье приведены данные по изучению коллекции четырех многолетних кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области РФ в 2005–2009 гг. Люцерна в целом превосходит по зимостойкости, высоте и кустистости козлятник, донник и лядвенец, имеет среднюю облиственность и (за весь цикл изучения) низкую урожайность воздушно-сухой массы. Двулетний бикарпик донник белый выделяется по урожайности воздушно-сухой массы в среднем за год, имеет среднюю высоту и облиственность и низкую зимостойкость и кустистость. Лядвенец рогатый значительно уступает остальным изученным культурам по всем хозяйственным признакам. У козлятника наблюдается наиболее высокая облиственность; по зимостойкости, кустистости и высоте растений он несколько уступает люцерне, а по урожайности – доннику белому. Семена в условиях Мурманской области возможно получить только у образцов козлятника восточного.

Заключение. По комплексу хозяйственных признаков наиболее перспективной культурой является козлятник восточный, в частности адаптированные натурализовавшиеся образцы, сформированные в результате отбора в 1991–1993 гг.

Ключевые слова: генетические ресурсы, козлятник, люцерна, донник, лядвенец, Заполярье

Благодарности: работа профинансирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021. Исследование проводилось на материале из коллекции генетических ресурсов многолетних бобовых культур, хранящейся в ВИР. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Михайлова И.В., Хвостова А.Б., Малышев Л.Л. Сравнительный анализ кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):122-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-122-131

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-122-131

Comparative analysis of fodder legumes in Murmansk Province

Irina V. Mikhailova¹, Alexandra B. Khvostova¹, Leonid L. Malyshev²¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station of VIR, Apatity, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Leonid L. Malyshev, l.malyshev@vir.nw.ru

Background. Dairy farming is one of the main segments in the agricultural sector of Murmansk Province. Expanding the range of cultivated legume fodder crops and their cultivars is one of the ways to comprehensively solve the problem of feed in the Kola Peninsula. Introduction of perennial legumes into the feed production practice will reduce the production cost of feeds and improve their quality.

Materials and methods. Fodder galega, variable and yellow alfalfa (2005–2009), bird's-foot trefoil (2006–2007), and sweet clover (2007–2008) were studied at the Polar Experiment Station of VIR. Weather conditions during the years of study differed in temperature and water regimes. Observations and records were made according to VIR's guidelines. Statistical data processing included the calculation of the main variation parameters and the construction of a generalized linear model of the variance structure.

Results. The data are presented on the study of the collection of four perennial fodder legumes in Murmansk Province, Russia, in 2005–2009. Alfalfa surpassed fodder galega, sweet clover and bird's-foot trefoil in winter hardiness, height and bushiness, showed medium leafiness, and (for the entire study cycle) had low air-dry mass yield. Biennial bicarpic sweet clover stood out for its air-dry mass yield on average per year, had medium height and foliage, but low winter hardiness and bushiness. Bird's-foot trefoil was significantly inferior to the rest of the studied crops in all agronomic characteristics. Galega had the highest leafiness; in winter hardiness, bushiness and plant height it was slightly inferior to alfalfa, and in yield to white clover. Seeds under the conditions of Murmansk Province can be obtained only from galega accessions.

Conclusion. According to a set of agronomic characters, the most promising crop is fodder galega, especially its adapted naturalized accessions selected in 1991–1993.

Keywords: genetic resources, galega, alfalfa, sweet clover, bird's-foot trefoil, the Arctic

Acknowledgments: the work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2021-1050 dated Sept. 28, 2021. The research was performed on the material from the collection of perennial legume genetic resources held by VIR.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Mikhailova I.V., Khvostova A.B., Malyshev L.L. Comparative analysis of fodder legumes in Murmansk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):122-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-122-131

Введение

Мурманская область представляет собой северную границу возделывания культурных растений в европейской части России. Почвенно-климатические условия на ее территории имеют экстремальный характер и предъявляют жесткие требования к биологическим особенностям выращиваемых здесь культур. Культуры должны обладать широким диапазоном онтогенетической адаптивности и надежности, обеспечивающим формирование стабильных урожаев на фоне сильных вариаций основных метеорологических факторов окружающей среды – света, температуры и атмосферных осадков (Kosyuk et al., 2013).

Климат области арктически умеренный и имеет яркую особенность – полярный день, продолжительность которого по области с юга на север колеблется от 17 до 72 суток, и полярную ночь длительностью от 22 до 40 суток. Северное лето с температурой выше +10°C длится около двух месяцев. Заморозки возможны в любой период летнего времени (Karavaeva, 2018).

Основными генетическими типами почв на Кольском полуострове является подзолистый, болотный и дерновый. Большое хозяйственное значение в Мурманской области имеют почвы болотного типа, особенно почвы низинных и переходных болот. Для таких почв характерны малая золистость органического вещества, низкое содержание подвижных форм азота и фосфора, высокая теплоемкость, малая теплопроводность и большая влагоемкость (Fedorova, 1982).

Во флоре Мурманской области сем. Fabaceae представлено ограниченным числом таксонов, особенно из числа введенных в культуру родов: шесть видов клевера, из которых только один – *Trifolium repens* L. – имеет естественный ареал; как заносные: *Medicago falcate* L., *Medicago lupulina* L., *Lotus corniculatus* L., *Melilotus albus* Medik. и *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (Poyarkov, 1959).

Одной из главных отраслей в аграрном секторе Мурманской области является молочное животноводство, а корма являются основой успешной работы этой отрасли. Развитие ее во многом зависит от создания местной кормовой базы (Fedorova, 1976). Расширение набора видов и сортов кормовых культур является одним из путей комплексного решения проблемы кормов на Кольском полуострове. В настоящее время на территории Мурманской области на кормовые цели возделывают в основном однолетние (овес, ячмень) и многолетние (кострец безостый, тимофеевка луговая, овсяница луговая) злаки (Kirillov, 2017). Повышение продуктивности злаковых кормовых трав достигается внесением высоких доз азотных удобрений, однако они приводят к загрязнению почвы и грунтовых вод и снижению качества корма (Khaitbaev, 2003).

Подбор многолетних кормовых культур и выведение сортов для местного использования проводились с образования Полярной опытной станции ВИР (Problems..., 1934). В течение многолетних отборов созданы местные популяции тимофеевки луговой, лисохвоста лугового, овсяницы луговой и красной, костреца безостого, характеризующиеся долголетностью, холодостойкостью, устойчивостью к болезням, высокой урожайностью. Широкое внедрение этих ценных культур сдерживалось недостаточностью площадей для развития семеноводства.

В результате многолетней селекции (селекционеры И. В. Душечкин, П. К. Калинин, Г. М. Стрекопытов) были выведены сорта многолетних кормовых злаков: тимофе-

евка 'Хибинская 673', мятлик луговой 'Хибинский 2014' и 'Хибинский 2036', овсяница луговая 'Хибинская 806', овсяница красная 'Хибинская', лисохвост луговой 'Хибинский 437' и др. (Akhtulova, 2004). Проводилась работа по селекции клевера красного и клевера гибридного.

Расширение ассортимента возделываемых культур и их сортов является одним из путей комплексного решения проблемы кормов на Кольском полуострове. В настоящее время в Мурманской области возделывается ограниченный набор кормовых трав. Для расширения ассортимента кормовых культур, используемых на Кольском полуострове, с 1991 г. на станции было начато изучение коллекции новой для того времени многолетней кормовой бобовой культуры – козлятника восточного (Mikhailova, Akhtulova, 2013). Введение в кормопроизводство многолетних бобовых культур, накапливающих азот в почве за счет жизнедеятельности клубеньковых бактерий, позволит максимально снизить затраты на изготовление кормов местного производства, а также качественно их улучшить (Laskin, Khaitbaev, 2002; Laskin, 2006). Потенциальные размеры симбиотической азотфиксации для многолетних бобовых культур составляют 270–550 кг/га (Kozhemyakov, Tikhonovich, 1998).

Практика показывает, что посевы многолетних злаковых и бобовых культур дают положительный экономический эффект, а многолетние бобовые культуры не только отличаются высоким содержанием белка, но и способны произрастать на слабокультуренных почвах, обогащать и улучшать плодородие почв, очищать почвы от загрязнения (Evdokimova et al., 2020).

В 2005–2009 гг. на Полярной опытной станции – филиале ВИР проводилось изучение четырех многолетних бобовых культур: донника белого, козлятника восточного, люцерны посевной и изменчивой, лядвенца рогатого. Цель данной работы – сравнительная оценка данных культур как исходного материала для селекции в условиях Заполярья.

Материал и методика

Материалом для исследований служили образцы кормовых бобовых культур, полученные из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Изучали четыре многолетние бобовые культуры: многолетние козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.) – 36 образцов, люцерна – 2 образца: сорт 'Якутская желтая' – *Medicago falcate* L. и сорт 'Сюлинская' – *Medicago varia* Martyn (2005–2009 гг.), лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus* L.) – 15 образцов (2006–2007 гг., затем выпали из посевов) и двулетний монокарпик донник белый (*Melilotus albus* Medik.) – 15 образцов (2007–2008 гг.).

Погодные условия в годы исследования различались по температурному и водному режимам. Наиболее теплыми по сравнению со среднемноголетней температурой в вегетационный период были 2006 и 2009 г. В эти годы наиболее теплой была первая половина лета. В 2005 и 2007 г. отмечены более высокие температуры во второй половине вегетационного периода и продолжительный безморозный период в октябре. Среднесуточные температуры воздуха в 2008 г. были наименьшими по сравнению со среднемноголетними данными. В зимний период наиболее низкие среднесуточные температуры наблюдались в феврале 2006 и 2007 г. (до –15,5°C и –20,9°C соответственно), при среднемноголетней температуре февраля –14°C. Резкие перепады темпе-

ратур в течение зимних месяцев отрицательно сказываются на перезимовке растений. Частые оттепели наблюдались в январе, феврале, марте 2006 и 2007 г. и в ноябре 2006 г. (рис. 1, 2). В целом наиболее благоприятные для

развития растений метеорологические условия сложились в 2009 г. (наименьшие колебания среднесуточных температур, большая высота снежного покрова и умеренное количество осадков).

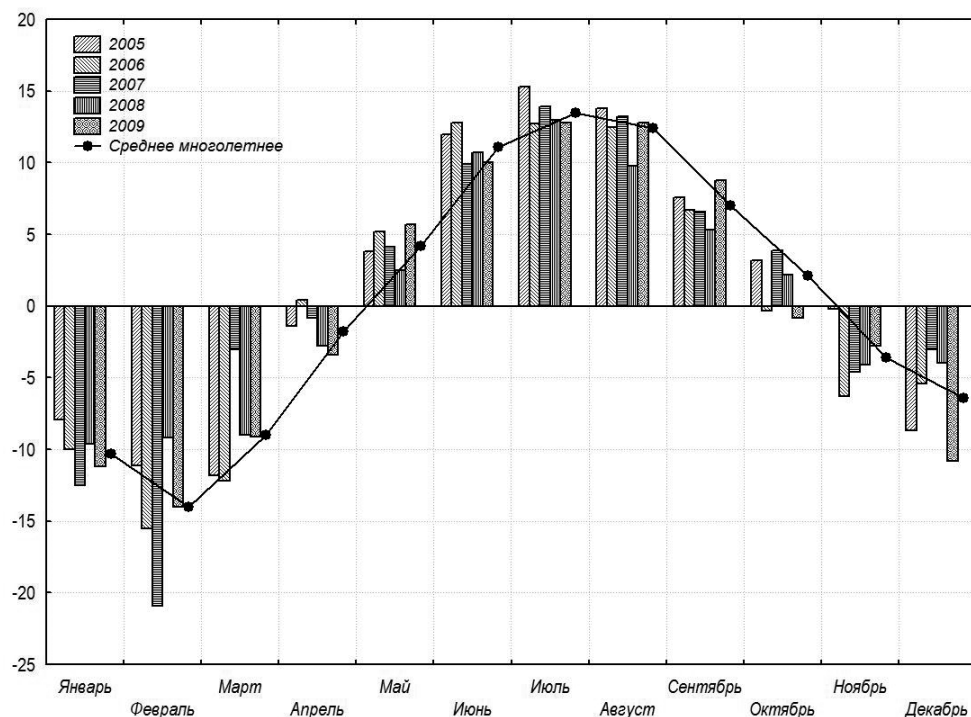


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2005–2009 гг.
(по данным ФГБУ «Мурманское УГМС»)

Fig 1. Mean daily air temperatures, Polar Experiment Station of VIR, 2005–2009
(Murmansk Hydrometeorological Service Department)

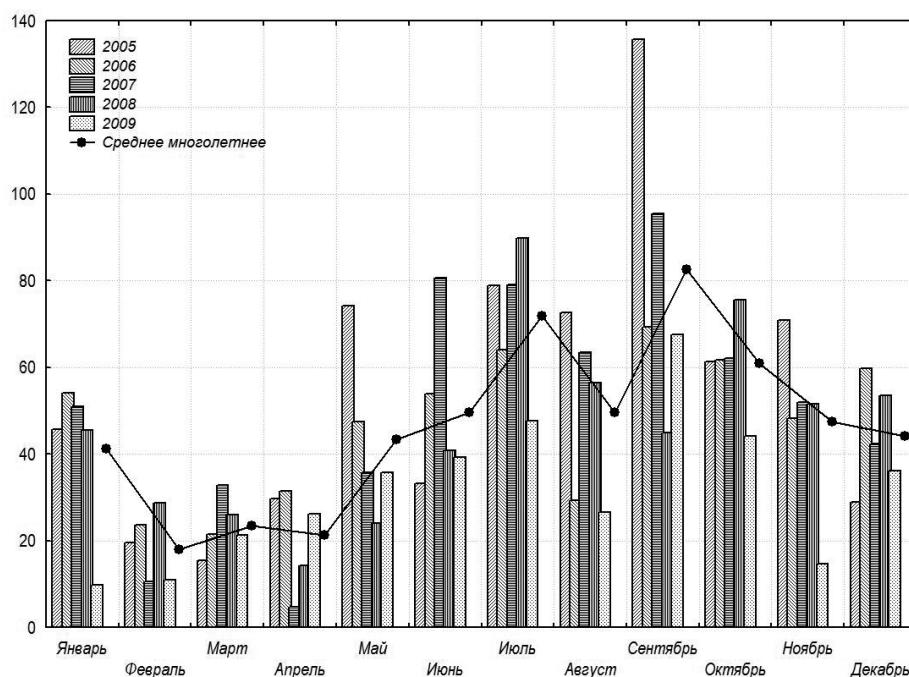


Рис. 2. Сумма осадков за месяц, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2005–2009 гг.
(по данным ФГБУ «Мурманское УГМС»)

Fig. 2. Monthly precipitation amounts, Polar Experiment Station of VIR, 2005–2009
(Murmansk Hydrometeorological Service Department)

Наблюдения и учеты проводили согласно методическим указаниям ВИР (Ivanov et al., 1985) по признакам: «зимостойкость», «высота растений», «число побегов», «облиственность», «урожайность воздушно-сухой массы» и «урожайность семян».

Статистическая обработка данных производилась с использованием пакета прикладных программ Statistica 12.0 и включала в себя вычисление основных параметров варьирования и построение общей линейной модели структуры дисперсии (иерархическая схема дисперсионного анализа).

Результаты

Козлятник восточный

Наиболее высокую зимостойкость имеют образцы, адаптированные к условиям произрастания – к-55536 и к-55537, прошедшие естественный отбор в условиях Мурманской области ($98,9 \pm 0,78\%$ и $99,2 \pm 0,45\%$ соответственно). У сорта-стандарта 'Надежда' (к-48166) из Ленинградской области зимостойкость составила $78,2 \pm 4,15\%$. Зимостойкость сорта 'Надежда' с годами падает, а у образцов из Мурманской области увеличивается. Средняя высота коллекционных образцов козлятника восточного за период исследования варьировала от $47,5 \pm 1,23$ см в 2006 г. до $95,5 \pm 2,01$ см в 2009 г. Максимальная высота травостоя наблюдалась в 2009 г. У образца к-55536 (Мурманская обл.) – $140,7 \pm 8,3$ см. Число побегов в среднем по коллекции колебалось от $38,0 \pm 1,48$ шт. в 2007 г. до $49,9 \pm 1,94$ шт. в 2006 г. Выделился по кустистости натурализовавшийся образец к-55536 из Мурманской обл., число побегов у которого в 2006 г. достигало $98,3 \pm 1,67$ шт. Облиственность образцов коллекции козлятника восточного высокая (от $55,3 \pm 1,17\%$ в 2007 г. до $64,0 \pm 1,21\%$ на первый год жизни в 2006 г.). Натурализовавшиеся образцы из Мурманской области в целом по годам изучения имеют облиственность выше ($65\text{--}75\%$).

За годы изучения коллекции козлятника восточного наиболее высокую урожайность воздушно-сухой массы имел натурализовавшийся образец из Мурманской области (к-55537): в среднем за пять лет $1,98 \pm 0,194$ кг/м², а максимальное значение показателя – $2,93 \pm 0,267$ кг/м² в 2009 г. Урожайность сухой массы у остальных образцов коллекции значительно ниже – $0,79 \pm 0,022$ кг/м² в среднем и до $1,09 \pm 0,038$ кг/м² в 2009 г. Образование семян отмечено у всех образцов. По урожайности семян выделился натурализовавшийся образец к-55537 из Мурманской области (в среднем за годы изучения $68,5 \pm 2,82$ и максимальная – $74,7 \pm 2,10$ г/м² в 2007 г.). В среднем же по коллекции этот показатель был существенно ниже и составил $18,9 \pm 0,71$ г/м² за годы изучения и $32,3 \pm 1,79$ г/м² в 2009 г.

Люцерна изменчивая и серповидная

Различия между двумя изученными образцами, относящимися к двум разным видам, не достоверны по всем признакам. Зимостойкость образцов люцерны в условиях Кольского Заполярья высокая. В 2005, 2006 и 2009 г. сорт люцерны изменчивой 'Сюлинская' (к-51115) несколько превосходил по зимостойкости сорт люцерны серповидной 'Якутская желтая' (к-44033). В 2009 г. зимостойкость образцов достигла максимума ('Якутская желтая' – $98,3 \pm 1,20\%$ и 'Сюлинская' – $99,3 \pm 0,67\%$). Высота травостоя люцерны росла от $13,7 \pm 1,33$ см в 2005 г. до $156,3 \pm 7,23$ см в 2009 г. Увеличивалась и кустистость (количество побегов на растение): $6,8 \pm 0,60$ шт. в 2005 г. –

$112,8 \pm 4,21$ шт. в 2009 г. Максимальная облиственность у образцов люцерны наблюдалась на первый год жизни ($48,8 \pm 1,22\%$), затем снижалась и в 2009 г. составляла $39,7 \pm 1,61\%$. Урожайность воздушно-сухой массы в условиях Мурманской области возрастает по годам исследования от $0,04 \pm 0,005$ кг/м² в 2005 г. до $0,41 \pm 0,017$ кг/м². В экстремальных условиях Кольского Севера сорта люцерны могут давать полноценные семена, но в очень малых количествах (в пределах $0,01\text{--}0,02$ г/м²). Созревание семян происходит в третьей декаде августа – первой декаде сентября.

Лядвенец рогатый

Влияние фактора «год изучения» на величину хозяйственно ценных признаков было недостоверно, влияние фактора «образец» – достоверно на уровне $p = 0,05$. Зимостойкость коллекционных образцов лядвенца рогатого в условиях Кольского Севера в среднем за два года варьировала от $16,5 \pm 2,95\%$ (сорт 'Mansfield', Канада, к-34459) до $66,3 \pm 2,60\%$ (сорт 'Солнышко', НИИСХ Северо-Востока, к-49009). Высота травостоя коллекционных образцов составила $30,0 \pm 1,16$ см. Наибольшая высота травостоя наблюдалась у сортов 'MLM-01004' к-45920 ($47,0 \pm 1,84$ см) и 'Солнышко' ($51,0 \pm 0,86$ см). Число побегов на одно растение в среднем по коллекции составило $18,4 \pm 0,79$ шт. Выделились по кустистости образцы 'MLM-01004' ($27,3 \pm 0,95$ шт.) и 'Солнышко' ($32,3 \pm 1,89$ шт.). Облиственность коллекционных образцов лядвенца рогатого равнялась $44,8 \pm 1,09\%$. Выделились по данному признаку сорта 'Солнышко' ($63,0 \pm 0,82\%$) и 'MLM-01004' ($58,0 \pm 2,07\%$). Растения в течение двух лет давали невысокую урожайность воздушно-сухой массы – $0,283 \pm 0,023$ кг/м². По данному признаку выделились сорта 'Солнышко' ($0,563 \pm 0,027$ кг/м²) и 'MLM-01004' ($0,707 \pm 0,041$ кг/м²). На отдельных растениях дикорастущего образца из Архангельской обл. (к-33776) отмечено плодообразование, однако созревание семян у лядвенца рогатого за оба года изучения не наблюдалось.

Донник белый

Зимостойкость образцов донника белого за годы изучения в целом невысока – $31,1 \pm 1,94\%$. Выделялся по этому признаку сорт 'Люцерновидный местный' (к-34643, Алтайский край, зимостойкость $87,8 \pm 3,06\%$). Средняя высота травостоя коллекционных образцов варьировала от $38,8 \pm 3,26$ см (к-38926, дикорастущий образец из Тюменской области) до $78,8 \pm 1,87$ см (сорт 'Рыбинский', к-39363). Число побегов также варьировало в широких пределах – от $8,7 \pm 1,82$ шт. (к-9249, коллекционный образец из США) до $21,0 \pm 1,98$ шт. (дикорастущий образец из Кировской обл., к-32335). Облиственность образцов в среднем составляла от $24,5 \pm 6,17\%$ у сорта 'Обский Гигант' (к-40150) до $50,2 \pm 1,22\%$ у сорта 'Arctic' (к-38863) из Канады. Урожайность воздушно-сухой массы колебалась от $0,432 \pm 0,137$ кг/м² у дикорастущего образца к-48543 из Казахстана до $2,057 \pm 0,122$ кг/м² у сорта 'Рыбинский'. Большинство образцов достигли фазы цветения, созревание семян не наблюдалось.

Основные результаты сравнения многолетних бобовых кормовых культур отражены в таблицах 1 и 2 и на рисунке 3.

Анализ структуры изменчивости показал высокое влияние факторов видовой принадлежности образца, года изучения и чистого влияния факторов «культура» по годам изучения и «год изучения» по культурам на величину всех изученных признаков ($p = 0,001$), за исклю-

Таблица 1. Основные хозяйственно ценные признаки у бобовых культур
(Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2005–2009 гг.)

Table 1. Main useful agronomic characters in legumes
(Polar Experiment Station of VIR, 2005–2009)

Культура	Год изучения	Зимостойкость, %	Высота, см	Кустиность, шт.	Облиственность, %	Урожайность воздушно-сухой массы, кг/м ²
Козлятник восточный	2005	53,8 ± 4,50	90,0 ± 3,23	64,3 ± 1,52	40,6 ± 2,76	1,09 ± 0,040
Козлятник восточный	2006	50,9 ± 4,56	47,8 ± 2,16	55,5 ± 0,94	50,1 ± 2,92	0,44 ± 0,055
Козлятник восточный	2007	44,0 ± 3,77	54,1 ± 3,16	54,5 ± 1,87	37,2 ± 2,16	0,50 ± 0,054
Козлятник восточный	2008	45,3 ± 3,93	70,9 ± 3,62	59,5 ± 1,58	45,7 ± 3,05	1,21 ± 0,077
Козлятник восточный	2009	45,9 ± 3,40	96,2 ± 2,54	55,7 ± 1,39	40,5 ± 2,36	1,13 ± 0,117
Люцерна	2005	58,2 ± 2,17	13,7 ± 1,33	48,8 ± 0,50	6,8 ± 0,17	0,04 ± 0,004
Люцерна	2006	52,8 ± 1,50	39,7 ± 2,33	41,3 ± 0,00	14,5 ± 0,17	0,14 ± 0,002
Люцерна	2007	76,3 ± 2,00	67,7 ± 3,67	36,0 ± 0,67	35,2 ± 1,17	0,31 ± 0,001
Люцерна	2008	88,0 ± 0,67	116,5 ± 5,17	41,0 ± 1,33	60,7 ± 5,33	0,40 ± 0,021
Люцерна	2009	98,8 ± 0,50	156,3 ± 1,33	39,7 ± 0,00	40,5 ± 0,82	0,41 ± 0,017
Лядвенец рогатый	2006	33,0 ± 4,05	31,6 ± 2,12	19,4 ± 1,59	43,4 ± 2,19	0,30 ± 0,049
Лядвенец рогатый	2007	34,9 ± 4,05	28,4 ± 2,33	17,5 ± 1,44	46,2 ± 1,68	0,27 ± 0,041
Донник белый	2007	30,2 ± 4,60	54,4 ± 4,01	12,9 ± 1,07	37,8 ± 2,19	1,10 ± 0,164
Донник белый	2008	32,0 ± 4,20	55,9 ± 3,19	13,6 ± 1,17	39,3 ± 1,46	1,31 ± 0,171

Таблица 2. Достоверность влияния культуры, года изучения и их чистого влияния на величину основных хозяйственно ценных признаков у бобовых культур (Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2005–2009 гг.)

Table 2. Statistical significance of the effect of the crop and the year of study, and their net effect on the values of main useful agronomic characters in legumes (Polar Experiment Station of VIR, 2005–2009)

Источник варьирования	Зимостойкость		Высота		Кустиность		Облиственность		Урожайность воздушно-сухой массы	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Культура	15,48	0,001	70,82	0,001	467,37	0,001	3,58	0,015	31,53	0,001
Год изучения	2,80	0,027	52,06	0,001	21,70	0,001	19,22	0,001	5,45	0,001
Культура (по годам)	5,12	0,001	17,45	0,001	118,79	0,001	10,91	0,001	6,74	0,001
Год (по культурам)	1,23	0,274	35,84	0,001	4,08	0,001	4,10	0,001	9,77	0,001

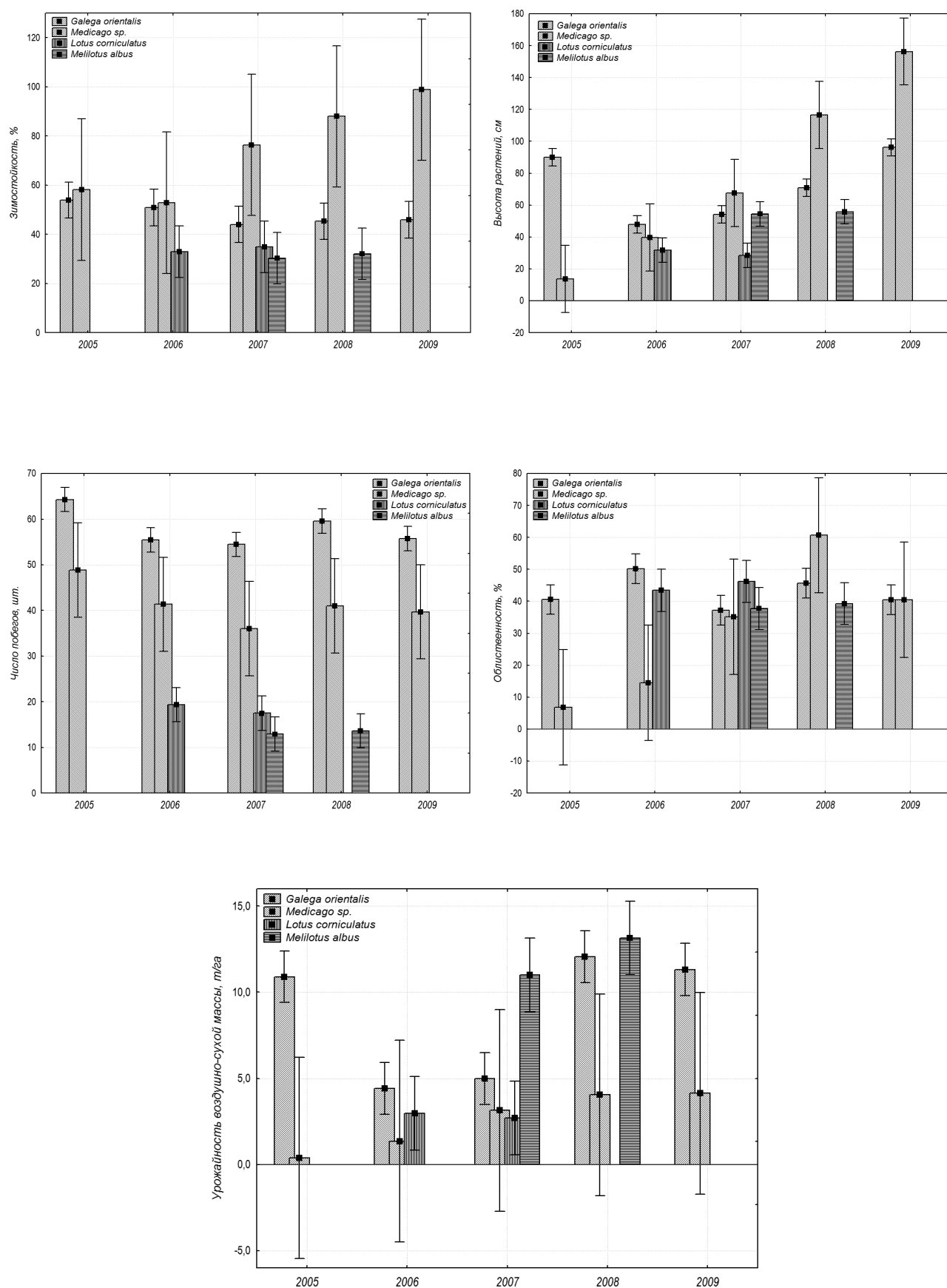


Рис. 3. Величина хозяйственно ценных признаков у кормовых бобовых культур в условиях Мурманской области (Полярная опытная станция – филиал ВИР, 2005–2009 гг.)

Fig. 3. Values of useful agronomic characters in fodder legumes under the conditions of Murmansk Province (Polar Experiment Station of VIR, 2005–2009)

чением влияния года изучения на зимостойкость (различия достоверны, но на уровне $p = 0,027$) и чистого влияния фактора «год изучения» по культурам на зимостойкость (различия недостоверны, $p = 0,274$).

Зимостойкость

Наиболее высокой зимостойкостью в среднем по коллекции отличаются образцы люцерны желтой и изменчивой ($HCP_{0,05} = 18,3$). Они достоверно превосходят по этому признаку образцы козлятника восточного, за исключением натурализовавшихся образцов. Образцы козлятника восточного, донника и лядвенца рогатого по зимостойкости существенно не различаются. Зимостойкость образцов козлятника восточного и люцерны в первые два года жизни достоверно не различается. Зимостойкость люцерны достоверно растет и к пятому году достигает почти 100%, зимостойкость козлятника несколько снижается ($HCP_{0,05} = 29,8$). Зимостойкость лядвенца и донника на первом и втором году жизни достоверно не различалась.

Высота растений

Образцы козлятника восточного и люцерны достоверно превосходят по высоте растений перед укосом образцы донника и лядвенца ($HCP_{0,05} = 11,9$). Достоверных различий в среднем за весь период изучения козлятника и люцерны, донника и лядвенца не наблюдается. По высоте растений образцы люцерны в первый год жизни значительно уступают образцам козлятника, но к пятому году значительно превосходят их ($HCP_{0,05} = 21,9$). Различия по высоте растений донника белого и лядвенца рогатого недостоверны.

Кустистость (число стеблей)

По кустистости, как и по высоте растений, выделяют образцы козлятника восточного ($HCP_{0,05} = 10,4$). Несколько уступают им образцы люцерны желтой и изменчивой. Кустистость донника белого и лядвенца рогатого значительно ниже. Люцерна и козлятник восточный значительно различаются по динамике формирования куста. И козлятник, и люцерна формируют максимальное число стеблей на первый год жизни, но затем у люцерны кустистость несколько снижается, а у козлятника остается более или менее стабильной за все годы изучения ($HCP_{0,05} = 19,6$). У образцов донника и лядвенца кустистость на первый и второй год жизни не различаются.

Облиственность

Облиственность образцов козлятника восточного значительно выше, чем облиственность образцов люцерны, донника и лядвенца ($HCP_{0,05} = 6,6$). Достоверных различий по величине признака между образцами последних трех культур не наблюдается. Облиственность образцов люцерны, козлятника, донника белого и лядвенца рогатого стабильна по годам изучения за все годы исследования ($HCP_{0,05} = 10,9$).

Урожайность воздушно-сухой массы

По урожайности выделяются образцы донника белого ($HCP_{0,05} = 0,403$). Урожайность образцов козлятника достоверно уступает им, но превосходит урожайность образцов люцерны и лядвенца рогатого. Достоверных различий между образцами люцерны и лядвенца не наблюдается. Влияние обоих факторов (год и культура) и их взаимодействия на величину признаков высокодостоверны. Урожайность воздушно-сухой массы образцов козлятника и люцерны возрастает за годы исследования; однако у образцов козлятника она очень высока и на первый год жизни; у образцов донника она достоверно выше на второй год жизни, у лядвенца существенно не изменяется ($HCP_{0,05} = 0,537$).

Заключение

Лядвенец рогатый значительно уступает остальным культурам по всем изученным признакам.

Образцы двулетнего бикарпика донника выделяются по урожайности воздушно-сухой массы, имеют среднюю высоту и облиственность, низкую зимостойкость и кустистость.

Образцы люцерны превосходят по зимостойкости и по высоте прочие культуры, имеют среднюю кустистость, облиственность и (за весь цикл изучения) низкую урожайность воздушно-сухой массы.

У образцов козлятника наблюдается наиболее высокая облиственность и кустистость; зимостойкость и высота растений несколько уступает образцам люцерны, а урожайность – образцам донника белого. Семена в условиях Мурманской области возможно получить только у образцов козлятника восточного.

По комплексу хозяйственных характеристик наиболее перспективной культурой является козлятник восточный, в частности адаптированные натурализовавшиеся образцы, сформированные в результате отбора в 1991–1993 гг.

References / Литература

- Akhtulova E.M. Research activity of the Polar Experiment Station in the Kola North (Nauchno-issledovatel'skaya deyatel'nost' "Polyarnoy opyt'noy stantsii" na Kolskom Severe). Apatity: S.M. Kirov Kola Scientific Center of the RAS; 2004. [in Russian] (Ахтулова Е.М. Научно-исследовательская деятельность «Полярной опытной станции» на Кольском Севере. Апатиты: Кольский НЦ РАН им. С.М. Кирова; 2004).
- Evdokimova G.A., Mozgova N.P., Korneikova M.V., Akhtulova E.M., Mikhailova I.V. The impact of soil pollution by diesel fuel on plants and rhizosphere microbiota in the Kola North (Vozdeystviye zagryazneniya pochv dizelnym toplivom na rasteniya i rizosfernyuyu mikrobiotu na Kolskom Severe). *Agricultural Chemistry*. 2007;(12):49-55. [in Russian] (Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Корнейкова М.В., Ахтулова Е.М., Михайлова И.В. Воздействие загрязнения почв дизельным топливом на растения и ризосферную микробиоту на Кольском Севере. *Агрохимия*. 2007;(12):49-55).
- Fedorova L.L. Chemical weed control (Khimicheskaya borba s sornyakami). Murmansk: Murmansk Book Publishers; 1982. [in Russian] (Федорова Л.Л. Химическая борьба с сорняками. Мурманск: Мурманское книжное издательство; 1982).
- Fedorova L.L. (ed.). Plant production in the Kola Peninsula (Rasteniyevodstvo na Kolskom Poluostrove). Murmansk: Murmansk Book Publishers; 1976. [in Russian] (Растениеводство на Кольском Полуострове / под ред. Л.Л. Федоровой. Мурманск: Мурманское книжное издательство; 1976).
- Ivanov A.I., Bukhteeva A.V., Shutova Z.P., Tikhomirova I.A., Soskov Yu.D., Sinyakov A.A., Bazylev E.Ya. Study of the collection of perennial forage plants (Guidelines) (Izucheniye kollektsii mnogoletnikh kormovykh rasteniy [Metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Иванов А.И., Бухтеева А.В., Шутова З.П., Тихомирова И.А., Сосков Ю.Д., Синяков А.А., Базылев Э.Я. Изучение коллекции многолетних кормовых растений (Методические указания). Ленинград: ВИР; 1985).

- Karavaeva E.S. The preservation of the gene pool of fodder crops in the conditions of Murmansk region (Sokhraneniye genofonda kormovykh kultur v usloviyakh Murmanskoy oblasti). *Modern Problems of Science and Education*. 2018;6(126):45-47. [in Russian] (Караваева Е.С. Сохранение генофонда кормовых культур в условиях Мурманской области. *Проблемы современной науки и образования*. 2018;6(126):45-47).
- Khaitbaev A.H. Agroecological approaches to regulating the productivity of perennial grasses beyond the Arctic Circle (on the example of Murmansk Province) (Agroekologicheskiye podkhody k regulirovaniyu produktivnosti mnogoletnikh trav za Polyarnym krugom [na primere Murmanskoy oblasti]) [dissertation]. Moscow: Timiryazev Agricultural Academy; 2003. [in Russian] (Хаитбаев А.Х. Агроэкологические подходы к регулированию продуктивности многолетних трав за полярным кругом (на примере Мурманской области): дис. ... канд. с.-х. наук. Москва: ТЦХА; 2003). URL: <https://www.dissercat.com/content/agroekologicheskie-podkhody-k-regulirovaniyu-produktivnosti-mnogoletnikh-trav-za-polyarnym-k> [дата обращения: 20.04.2022].
- Kirillov M.V. Agriculture of the Murmansk region. The status of crop and forage production. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki = Modern Scientific Research and Development*. 2017;6(14):92-95. [in Russian] (Кириллов М.В. Сельское хозяйство Мурманской области. Состояние растениеводства и кормопроизводства. *Современные научные исследования и разработки*. 2017;6(14):92-95).
- Kostyuk V.I., Travina S.N., Vikhman M.I. Influence of solar activity, insolation, air temperature and precipitation on the productivity of cultivated plants in the conditions of the Kola North (Vliyaniye solnechnoy aktivnosti, insolyatsii, temperatury vozdukhа i atmosferynykh osadkov na produktivnost kulturnykh rasteniy v usloviyakh Kolskogo Severa). Apatity: S.M. Kirov Kola Scientific Center of the RAS; 2013. [in Russian] (Костюк В.И., Травина С.Н., Вихман М.И. Влияние солнечной активности, инсоляции, температуры воздуха и атмосферных осадков на продуктивность культурных растений в условиях Кольского Севера. Апатиты: Кольский НЦ РАН им. С.М. Кирова; 2013).
- Kozhemyakov A.P., Tikhonovich I.A. The use of legume inoculants and complex biological products in agriculture (Ispolzovaniye inokulyantov bobovykh i biopreparatov kompleksnogo deystviya v selskom khozyaystve). *Russian Agricultural Sciences*. 1998;(6):7-10. [in Russian] (Кожемяков А.П., Тихонович И.А. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве. *Доклады Российской Академии сельскохозяйственных наук*. 1998;(6):7-10).
- Laskin P.V. Biological fixation of air nitrogen by fodder galega as a way to increase the bioproductivity of plant resources of the Far North (Biologicheskaya fiksatsiya azota vozdukhа kozlyatnikom vostochnym kak sposob povysheniya bioproduktivnosti rastitelnykh resursov Kraynego Severa). *Fodder Production*. 2006;(7):22. [in Russian] (Ласкин П.В. Биологическая фиксация азота воздуха козлятником восточным как способ повышения биопродуктивности растительных ресурсов Крайнего Севера. *Кормопроизводство*. 2006;(7):22).
- Laskin P.V., Khaitbaev A.H. Ecological and economic significance of the introduction of fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) in the agriculture of Murmansk Province (Ekologicheskoye i khozyaystvennoye znachenie introduktsii kozlyatnika vostochnogo (*Galega orientalis* Lam.) v zemledelii Murmanskoy oblasti). Apatity: S.M. Kirov Kola Scientific Center of the RAS; 2002. [in Russian] (Ласкин П.В., Хаитбаев А.Х. Экологическое и хозяйственное значение интродукции козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) в земледелии Мурманской области. Апатиты: Кольский НЦ РАН им. С.М. Кирова; 2002).
- Mikhailova I.V., Akhtulova E.M. Prospects of cultivating Eastern galega (*Galega orientalis* Lam.) in the Kola Peninsula. *Agricultural Chemistry*. 2013;(7):49-55. [in Russian] (Михайлова И.В., Ахтулова Е.М. Перспективы возделывания козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) в условиях Кольского полуострова. *Агрохимия*. 2013;(7):49-55).
- Poyarkov A.I. (ed.) Flora of the Murmansk region. Issue 4 (Flora Murmanskoy oblasti. Vypusk 4). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1959. [in Russian] (Флора Мурманской области. Выпуск 4 / под ред. А.И. Пояркова. Москва; Ленинград: АН СССР; 1959)
- Problems of northern plant production. Issue 4 (Problemy severnogo rasteniyevodstva. Vypusk 4). Leningrad: VIR; 1934. [in Russian] (Проблемы северного растениеводства. Выпуск 4. Ленинград: ВИР; 1934).

Информация об авторах

Ирина Витальевна Михайлова, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 184209 Россия, Мурманская обл., Апатиты, ул. Козлова, 2, irinamixailova69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7517-5225>

Александра Борисовна Хвостова, специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 184209 Россия, Мурманская обл., Апатиты, ул. Козлова, 2, a.khvestova.k-2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6537-7621>

Леонид Леонидович Малышев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, l.malyshv@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Information about the authors

Irina V. Mikhailova, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experimental Station of VIR, 2 Kozlova St., Apatity, Murmansk Province 184209, Russia, irinamixailova69@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7517-5225>

Alexandra B. Khvestova, Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experimental Station of VIR, 2 Kozlova St., Apatity, Murmansk Province 184209, Russia, a.khvestova.k-2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6537-7621>

Leonid L. Malyshev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.04.2022; одобрена после рецензирования 26.09.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 05.04.2022; approved after reviewing on 26.09.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

UDC 634.21(575.22)

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-132-140



Genetic diversity analysis of apricots from Dagestan using SSR markers

Dzhalaludin M. Anotov¹, Ivan I. Suprun², Ilya V. Stepanov², Sergey V. Tokmakov²¹ Caspian Institute of Bioresources, Dagestan Federal Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia² North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar, RussiaCorresponding author: Dzhalaludin M. Anotov, djalal@list.ru

Background. This publication presents the results of a study into the genetic structure of apricot genotypes from Dagestan using the SSR genotyping technique. The importance of the study is seen in the still underexplored gene pool of Dagestani apricot at the genetic level. With this in view, an assessment of the Dagestani apricot genetic diversity, followed by an analysis of its genetic structure, is of theoretical and practical interest.

Materials and methods. The study included 27 apricot genotypes of Dagestani origin: 9 advanced contemporary cultivars and hybrids, 15 seed selections and landraces, and 3 wild forms. Eight SSR markers were used for the genetic diversity analysis: H1-3, A1-91, H2-79, H1-26-2, H2-16, A1-17, RPPG1-032, and RPPG3-026.

Results. The UPGMA and NJ dendrogram construction techniques revealed the genetic similarity among the Dagestani apricots, confirmed by a low level of cluster significance. The tendency towards setting apart the genotypes of hybrid origin (obtained from free pollination of introduced cultivars) from the locally selected cultivars was observed by comparing the results of Bayesian analysis and the K-means approach using the Structure and Statistica software. Such isolation is partial, being obviously affected by constant integration of new apricot genotypes into the local gene pool and its enrichment with new alleles at the genetic level.

Conclusion. The contemporary assortment of apricots in Dagestan was formed on the basis of both the local autochthonous gene pool and Central Asian and European cultivars introduced into this area. The obtained data will enrich the knowledge about the genetic diversity of apricots in Dagestan and serve as the platform for further studies into the florigenetic links of the North Caucasus with other regions.

Keywords: *Prunus armeniaca* L., genetic polymorphism, SSR markers, PCR

Acknowledgements: this study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 19-016-00133A.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Anotov D.M., Suprun I.I., Stepanov I.V., Tokmakov S.V. Genetic diversity analysis of apricots from Dagestan using SSR markers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):132-140. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-132-140

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-132-140

Анализ генетического разнообразия абрикосов из Дагестана по SSR-маркерам

Д. М. Анатов¹, И. И. Супрун², И. В. Степанов², С. В. Токмаков²¹ Прикаспийский институт биологических ресурсов – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия² Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Джалалудин Магомедович Анатов, djalal@list.ru

Актуальность. В настоящей работе представлены результаты изучения генетической структуры сортов абрикоса дагестанского происхождения с помощью метода SSR-генотипирования. Ценность исследования обусловлена малоизученностью генофонда абрикоса Дагестана на генетическом уровне. В этой связи оценка генетического разнообразия дагестанского абрикоса с последующим анализом генетической структуры представляет теоретический и практический интерес.

Материалы и методы. В исследовании проанализировано 27 образцов абрикоса дагестанского происхождения: 9 современных сортов и гибридов, 15 семенных отборов и стародавних сортов, а также 3 дикие формы. Для анализа генетического разнообразия использовали 8 SSR-маркеров: H1-3, A1-91, H2-79, H1-26-2, H2-16, A1-17, RPPG1-032, RPPG3-026.

Результаты. Методами UPGMA и NJ при построении дендрограмм была установлена генетическая близость сортов абрикоса дагестанского происхождения, подтвержденная низким уровнем достоверности кластеров. При сопоставлении результатов, полученных на основе байесовского анализа и метода К-средних в программах Structure и Statistica, установлена тенденция к обособлению сортов гибридного происхождения (получены от свободного опыления интродуцированных сортов) от сортов из местных отборов. Это обособление имеет частичный характер, что связано, очевидно, с постоянным процессом интеграции новых генотипов абрикоса в местный генофонд и его обогащением новыми аллелями на генетическом уровне.

Заключение. Современный сортимент абрикоса в Дагестане сложился при участии как местного автохтонного генофонда, так и среднеазиатских и европейских сортов, интродуцированных в данную местность. Полученные сведения позволят обогатить знания о генетическом разнообразии сортов абрикоса Дагестана и послужат основой для последующего изучения флорогенетических связей Северного Кавказа с другими регионами.

Ключевые слова: *Prunus armeniaca* L., генетический полиморфизм, SSR-маркеры, ПЦР

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-016-00133А.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Анатов Д.М., Супрун И.И., Степанов И.В., Токмаков С.В., Анализ генетического разнообразия абрикосов из Дагестана по SSR-маркерам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):132-140. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-132-140

Introduction

Apricot (*Prunus armeniaca* L.) is among the most important fruit crops. K. F. Kostina (Kostina, 1936) identified the following ecogeographic groups for common apricot: Chinese, Central Asian, European, and Irano-Caucasian, based on the principles of ecogeographic classification of cultivated plants developed by N. I. Vavilov. Some adjustments were made in the years to follow (Kostina, 1964). Foreign experts traditionally recognize four main groups: Central Asian, Irano-Caucasian, European, and Dzungar-Trans-Ili, which, in their turn, are represented by local subgroups corresponding to a particular area of origin (Mehlenbacher et al., 1990). Two more groups were later identified: North Chinese and East Chinese (Layne et al. 1996). Different apricot groups are differing in the prevailing crown type, the shape of fruits, leaves and flowers, and a number of physiological characters, such as winter and frost resistance, heat and drought tolerance, flowering schedule, self-fertility, and disease resistance. There are transitional plant forms identified between the groups and subgroups. China and Central Asia are believed to be the primary centers of apricot domestication. It was from these regions that apricot spread to the territories of Western Asia, the Caucasus, the Middle East, and North Africa, shaping its secondary centers of morphogenesis, from where the apricot came to Europe and further over the world (Kostina, 1936; Vavilov, 1931; Bailey, Hough, 1975; Faust et al., 1998; Pedryc et al., 2009).

Dagestan, located on the trade routes of the Great Silk Road, which passed through the North Caucasus in ancient times and the Middle Ages, was also among the secondary centers of apricot morphogenesis.

According to the ecogeographic classification, the apricots in Dagestan are singled out as a separate regional Dagestani subgroup, part of the Irano-Caucasian ecogeographic group (Kostina, 1936; Mehlenbacher et al., 1990).

The present-day Dagestan is rich in fruit plant genetic resources, including apricots, which are still poorly studied and insufficiently involved in breeding practice. More than 120 local cultivars and forms have been identified. It was shown by the results of Dagestani gene pool testing that local cultivars are characterized by early flowering schedule, rounded leaf shapes, drought resistance, poor winter hardiness, and low resistance to brown rot and *Clasterosporium*. Natural populations of Dagestani apricot demonstrated high morphological diversity and breeding potential (Anatov, 2019; Asadulaev et al. 2020).

SSR markers have proven to be an effective molecular genetic tool for studying fruit crop gene pools. The initial research phase employed the SSR markers (Hormaza, 2002; Zhebentyayeva et al., 2003; Romero et al., 2003) earlier developed and tested on peach and other cultivated *Prunus* L. spp. (Cipriani et al., 1999; Testolin et al., 2000; Aranzana et al., 2002). Such approach made it possible to obtain good results. For example, primers of the SSR markers developed for peach produced PCR amplifications in 50–60% of cases with apricot genotypes (Cipriani et al., 1999; Zhebentyayeva et al., 2003). Those markers showed a high level of allelic polymorphism in various collections of apricot accessions (Hormaza, 2002; Romero et al., 2003; Zhebentyayeva et al., 2003; Sánchez-Peréz et al., 2005). Subsequently, taking into account the apricot genome, SSR markers for this crop were developed on the basis of the apricot genome sequences (Lopes et al., 2002; Messina et al., 2004).

The first large-scale study of the apricot gene pool using this method (SSR markers) was performed in 2005 (Maghuly et al., 2005). Ten polymorphic SSR markers were selected to

genotype a collection of 133 apricot cultivars. Their effectiveness was also demonstrated in a number of subsequent works (Yilmaz et al., 2012b; Raji et al., 2014; Krichena et al., 2014). In 2020, the results of an extensive study of the worldwide apricot germplasm were published (Bourguiba et al., 2020): 890 apricot accessions were genotyped with 25 SSR markers. The work with a large set of genotypes made it possible to trace the main routes along which the apricot crop had spread. A detailed genetic assessment of local germplasms emphasized the relevance of research aimed at understanding general patterns of apricot distribution over the world. Such local germplasms include the Dagestani apricot gene pool, which was not presented in the abovementioned publications.

Meanwhile, the study of the local apricot gene pool in Dagestan using DNA marker techniques is now at an early stage. For the time being, the results of the SSR analysis performed on a number of old-time apricot varieties compared with cultivars from nearby regions have been published. The resulting data attested to the complex origin of the Dagestani apricot gene pool and the impact of various sources on the formation of its germplasm (Stepanov et al., 2019).

The purpose of this study was to assess the genetic diversity of a part of Dagestani apricot genotypes using the SSR genotyping method and subsequent analysis of its genetic structure. The gene pool of Dagestani apricots was replenished applying various approaches: hybridization of introduced cultivars with local forms, selection of the best genotypes from traditional apricot plantations, etc. Dagestani apricots of diverse origin were compared in the framework of this study to find common patterns in the formation of the studied germplasm.

Materials and methods

The CTAB method was applied to extract DNA samples from leaf tissues in the unfolding phase (Murray, Thompson, 1980). The breeding material selected for genotyping is presented in Table 1. The study included 27 apricot genotypes of Dagestani origin, including 9 advanced modern cultivars and hybrids, 15 seed selections and the landraces 'Bukhara', 'Shindakhlan' and 'Khonobakh' collected in various villages of Dagestan and their environs, and 3 wild forms. Selections were carried out in the following villages: Gergebil (Gergebil'skiy Avgustovskiy), Salta (Kakhab Aik, Isin Bakhsan, Salta 1, Salta 2, Salta 7, Salta 9, and Salta 10), Goor (Karandalaevskiy, and Khibil Bakvaleb), Zirani (Kakhab), and Nizhneye Inkho (Kachasul). Nothing is known about the origin of these genotypes, except the collection site. Both old-time landraces and cultivars introduced from Central Asia, the Caucasus and Europe could participate in their development, as well as wild forms from neighboring apricot groves. Three genotypes in the studied set were considered to be old-time Dagestani landraces: 'Bukhara', 'Shindakhlan', and 'Khonobakh'. 'Khonobakh' was represented by two forms: Korodinskaya and Buynakskaya, the latter probably being a seedling from free pollination of 'Khonobakh'. Cvs. 'Tamasha', 'Untsukul'skiy pozdny', 'Esdelik' and 'Uzden' were seedlings from free pollination of plants of the Central Asian varietal types: Kursadyk and Supkhany. Two hybrids were obtained from crossing local varieties with European ones: Khibil Bakvaleb × Krasnochekiy and Medunets × Khonobakh, while two forms from the village of Chugli resulted from crossing the famous Armenian cultivar 'Shalakh' ('Yerevani') with local varieties.

Optimal parameters (the concentration of components, and the temperature regime of the reaction) were selected for the implementation of PCR. The following optimal protocol

Table 1. List of Dagestan apricot genotypes used in the study
Таблица 1. Перечень использованных дагестанских образцов абрикоса

Apricot genotypes	Conditional groups	Subgroup of Dagestan	Origin
1. Bukhara-1	old	Dagestan	Landrace
2. Gergebil'skiy Avgustovskiy	new	Dagestan	Selection
3. Isin bakhsan	old	Dagestan	Selection
4. Karandalaevskiy	old	Dagestan	Selection
5. Kakhab	old	Dagestan	Selection
6. Kakhab Aik	old	Dagestan	Selection
7. Kachasul	old	Dagestan	Selection
8. Salta 1	old	Dagestan	Selection
9. Salta 10	old	Dagestan	Selection
10. Salta 2	wild	Dagestan	Selection
11. Salta 7	old	Dagestan	Selection
12. Salta 9	old	Dagestan	Selection
13. Uzden	new	Dagestan / Central Asia	Hybridization
14. Khibil Bakvaleb	old	Dagestan	Selection
15. Khonobakh Buynakskiy	old	Dagestan	Landrace
16. Khonobakh Korodinskiy	old	Dagestan	Landrace
17. Khukumat kurek	old	Dagestan	Selection
18. TSEB 1	wild	Dagestan	Selection
19. TSEB 4	wild	Dagestan	Selection
20. Chugli-293	new	Dagestan / Irano-Caucasian	Hybridization
21. Chugli-295	new	Dagestan / Irano-Caucasian	Hybridization
22. Shindakhlan	old	Dagestan	Landrace
23. Khibil Bakvaleb × Krasnoschekiy	new	Dagestan / Europe	Hybridization
24. Tamasha	new	Dagestan / Central Asia	Hybridization
25. Untsukul'skiy pozdny	new	Dagestan / Central Asia	Hybridization
26. Esdelik	new	Dagestan / Central Asia	Hybridization
27. Medunets × Khonobakh	new	Dagestan / Europe	Hybridization

was accepted: the total 25 µL volume of the PCR mixture included 50 ng of DNA, 0.25 mM of dNTPs, 0.2 µM of each primer; plus 2.5 µL of 10x buffer and 1 u of Taq polymerase. PCR was carried out according to the following program: initial denaturation for 3 minutes at 94°C, then 35 cycles: denaturation at 94°C for 45 seconds, annealing stage at 58°C for 45 seconds, elongation at 72°C for 45 seconds; the final stage was elongation for 4 minutes 30 seconds at 72°C. An ABI prism 3130 instrument was used to assess the size of PCR products. The results were processed in the Gene Mapper 4.1 program. We analyzed 8 SSR markers: H1-3, A1-91, H2-79, H1-26-2, H2-16, A1-17 (Wang et al, 2014), RPPG1-032, and RPPG3-026 (Dettori, 2016).

A macro for Microsoft Office Excel 2007, GenAlEx 6.503, was employed. Principal coordinates analysis (PCoA) was performed using PAST v. 2.17c. Bayesian analysis was carried out in the STRUCTURE 2.3.4 program. Calculation of K-means values was made using the Statistica v.13.3 program.

Results

Eight SSR markers were used to analyze 27 apricot genotypes. The number of alleles (N_a) identified with 8 tested markers ranged from two (marker RPPG1-032) to ten (marker H1-3), averaged to 5.375 alleles per locus. A total of 43 alleles were recognized for all markers used in the study. A number of genetic parameters characterizing the polymorphism of the selected markers in the studied group of apricot genotypes were calculated (Table 2).

Such parameters as the effective number of alleles (N_e) and the Shannon index (I) make it possible to assess not only the number of alleles, but also the uniformity of their frequency. The H1-3 marker ($N_e = 4.215$; $I = 1.812$) had the highest parameter values, while the RPPG1-032 marker had the lowest values ($N_e = 1.113$; $I = 0.209$).

The highest value of observed heterozygosity (H_o) was found for the H1-26-2 marker, which had three alleles, while

Table 2. Parameters used to assess SSR markers**Таблица 2. Параметры, использованные для оценки SSR-маркеров**

Markers	Na	Ne	I	Ho	He	F
RPPG1-032	2	1.113	0.209	0.107	0.101	-0.057
RPPG3-026	5	2.920	1.229	0.036	0.658	0.946
H1-3	10	4.215	1.812	0.607	0.763	0.204
A1-91	6	3.751	1.508	0.393	0.733	0.464
H2-79	5	1.725	0.896	0.393	0.420	0.065
H1-26-2	3	2.815	1.063	0.750	0.645	-0.163
H2-16	6	2.454	1.095	0.643	0.592	-0.085
A1-17	6	3.336	1.402	0.393	0.700	0.439
Mean	5.375	2.791	1.152	0.415	0.577	0.227
SE	0.844	0.362	0.169	0.089	0.077	0.132

Note: Na – number of alleles; Ne – effective number of alleles; I – Shannon information index; Ho – observed heterozygosity; He – expected heterozygosity; F – fixation index

Примечание: Na – число аллелей; Ne – эффективное число аллелей; I – индекс информативности Шеннона; Ho – наблюдаемая гетерозиготность; He – ожидаемая гетерозиготность; F – индекс фиксации

the minimum value was recorded for the RPPG3-026 marker. The highest value of expected heterozygosity (He) was identified for the H1-3 marker, and the lowest for RPPG1-032. For three markers, the observed heterozygosity was higher than the expected one, attesting to high hybridization efficiency, which contributed to the saturation of the gene pool with heterozygous forms. Low values of the fixation index (F) also pointed to the panmicticity of the Dagestani apricot gene pool.

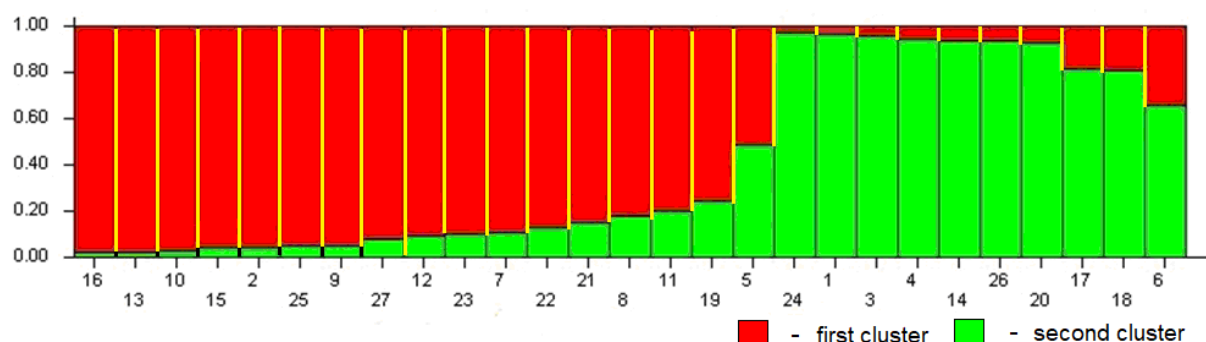
Genetic similarity among apricots of Dagestani origin was confirmed by the low statistical significance levels of the clusters when constructing dendrograms using the UPGMA and NJ methods. Besides, Bayesian analysis was carried out in the

Structure program, and K-means analysis in the Statistica program. The results of both techniques were compared with each other. The Past program was employed to make the PCoA that confirmed the general genotype distribution patterns.

Discussion

Apricot varieties were categorized into two clusters in the Structure 2.3.4 and Statistica 13.3 programs, using Bayesian analysis (Fig. 1) and K-means (Table 3), respectively.

The distribution of genotypes into clusters differed depending on the method applied. When comparing the two techniques, the genotypes were divided into four groups

**Fig. 1. Graph of Bayesian analysis of 27 Dagestani apricot genotypes in the Structure program****Рис. 1. График байесовского анализа 27 дагестанских образцов абрикоса в программе Structure**

Note: 1 – Bukhara-1, 2 – Gergebilskiy Avgustovskiy, 3 – Isin Bakhsan, 4 – Karandalaevskiy, 5 – Kakhab, 6 – Kakhab Aik, 7 – Kachasul, 8 – Salta 1, 9 – Salta 10, 10 – Salta 2, 11 – Salta 7, 12 – Salta 9, 13 – ‘Uzden’, 14 – Khibil Bakvaleb, 15 – Khonobakh Buynakskiy, 16 – Khonobakh Korodinskiy, 17 – Khukumat kurek, 18 – TSEB 1, 19 – TSEB 4, 20 – Chugli-293, 21 – Chugli-295, 22 – ‘Shindakhlan’, 23 – Khibil Bakvaleb × Krasnoschekiy, 24 – ‘Tamasha’, 25 – ‘Untsukulskiy posdny’, 26 – ‘Esdelik’, 27 – Medunets × Khonobakh

Примечание: 1 – Бухара-1, 2 – Гергебильский Августовский, 3 – Исин Бахсан, 4 – Карандалаевский, 5 – Кахаб, 6 – Кахаб Аик, 7 – Качасул, 8 – Салта 1, 9 – Салта 10, 10 – Салта 2, 11 – Салта 7, 12 – Салта 9, 13 – ‘Узден’, 14 – Хибил Баквалев, 15 – Хонобах Буйнакский, 16 – Хонобах Кородинский, 17 – Хукумат курек, 18 – ЦЭБ 1, 19 – ЦЭБ 4, 20 – Чугли-293, 21 – Чугли-295, 22 – ‘Шиндахлан’, 23 – Хибил Баквалев × Краснощекий, 24 – ‘Тамаша’, 25 – ‘Унцукульский поздний’, 26 – ‘Эсделик’, 27 – Медунец × Хонобах

Table 3. Comparison of the results of Bayesian analysis and K-means for 27 apricot genotypes of Dagestani origin
Таблица 3. Сопоставление результатов байесовского анализа и К-средних на 27 образцах абрикоса дагестанского происхождения

Название сортов	K-means*	Distance*	K = 2**	Cluster
Khonobakh Korodinskiy	1	0.29	1	1
Uzden	1	0.38	1	1
Salta 2	1	0.41	1	1
Gergebil'skiy Avgustovskiy	1	0.37	1	1
Untsukul'skiy pozdnyy	1	0.33	1	1
Medunets × Khonobakh	1	0.30	1	1
Khibil Bakvaleb × Krasnoschekiy	1	0.34	1	1
Chugli-295	1	0.32	1	1
TSEB 4	1	0.30	1	1
Khonobakh Buinakskiy	2	0.45	1	2
Salta 10	2	0.42	1	2
Salta 9	2	0.36	1	2
Kachasul	2	0.37	1	2
Shindakhlán	2	0.30	1	2
Salta 1	2	0.28	1	2
Salta 7	2	0.28	1	2
Kakhab	2	0.36	1	2
Tamasha	2	0.26	2	3
Bukhara-1	2	0.25	2	3
Isin bakhsan	2	0.32	2	3
Karandalaevskiy	2	0.30	2	3
Khibil Bakvaleb	2	0.28	2	3
Chugli-293	2	0.28	2	3
Kakhab Aik	2	0.42	2	3
Esdelik	1	0.31	2	4
Khukumat kurek	1	0.34	2	4
TSEB 1	1	0.36	2	4

* – results of clustering in the Statistica program; ** – results of clustering in the Structure program

* – результаты кластеризации в программе Statistica; ** – результаты кластеризации в программе Structure

(see Table 3). The first group included genotypes assigned to the first cluster, matching on the basis of both methods. The second group included those assigned to the first cluster in Structure and the second cluster in Statistica. The third group contained genotypes that matched the second cluster in both programs. The fourth group incorporated genotypes assigned to the second cluster in Structure and the first cluster according to K-means.

The first group consisted of one old-time landrace, Khonobakh Korodinskiy, and a number of modern forms of hybrid origin (Khibil Bakvaleb × Krasnoschekiy, Chugli-295, and Medunets × Khonobakh), including those with Central Asian

genotypes as parents ('Uzden' and 'Untsukul'skiy pozdnyy'). The three genotypes selected by collecting missions were TSEB 4, Salta 2, and Gergebil'skiy Avgustovskiy. In general, the main part of modern cultivars had a parent of non-Dagestani origin.

The second group included the 'Shindakhlán' landrace, genotypes selected in the village of Salta (1, 9, 7, and 10) as well as the Kachasul and Kakhab selections found by collecting teams. The Khonobakh Buinakskiy genotype also entered this group. Most of the apricot forms within the group were selections collected by plant explorers, mainly from the village of Salta.

The third group comprised the 'Bukhara' landrace, and two genotypes of hybrid origin: 'Tamasha', and Chugli-293. Four apricot forms were local selections.

The fourth group was represented by three genotypes: two local selections and one with Central Asian roots.

The abovementioned leads to an assumption that contrasting division of the genotypes in the selected set occurred between local genotype selections growing in mountain villages and new cultivars of hybrid origin, in which European or Asian apricots were found among maternal parents. According to the ratio of hybrid cultivars to local varieties, the first group (5 cultivars of hybrid origin and 3 genotypes from selections) and the second one (6 genotypes from selections, with no new hybrid cultivars in the group) can be regarded as contrasting to each other. It is noteworthy that the first group contained the 'Khonobakh' landrace, possessing a number of features characteristic of Central Asian genotypes (drought resistance, and productivity), while 'Shindakhlan' from the second group was, in its turn, a typical apricot cultivar from the Irano-Caucasian ecogeographic group (large fruit size, light fruit color, medium height, weak winter hardiness, and poor resistance to fungal diseases).

The third and fourth groups demonstrated a mixed composition of genotypes, without a pronounced predominance of hybrid forms or those selected by collecting missions. The presence of mixed groups pointed to the influence of apricots differing in their origin on the local germplasm. In its turn, the revealed isolation of selected local forms of apricot, especial-

ly in the village of Salta, confirmed the presence of a unique gene pool of this fruit crop, formed in the mountainous regions of Dagestan. The emergence of this gene pool could be facilitated by both geographic isolation, provoked by the inaccessibility of the mountain settlements in Dagestan, and specific features of folk breeding, which contributed to the selection of apricots with specific characteristics.

Three landraces were distributed among three groups: Khonobakh Korodinskiy (first group), 'Shindakhlan' (second group), and 'Bukhara' (third group). It can be assumed that the three Dagestani landraces had significant genetic differences among themselves. Each of these landraces in different times was widespread in the Dagestani horticultural practice and strongly influenced the gene pool of apricots cultivated in Dagestan. This can be evidenced by the even distribution of cultivars selected from local apricot forms among the three main groups. Khonobakh Korodinskiy is genetically different from Khonobakh Buynakskiy, thus making doubtful the relationship between these genotypes. It is also worth noting that the Structure program made it possible to establish two intermediate genotypes (the graph shows a significant contribution of two clusters), Kakhab and Kakhab Aik.

The principal coordinates analysis also confirmed the pattern with four groups of genotypes (Fig. 2). Each group occupies its own position in the coordinate space. The first group is located in the upper right corner, the second group in the upper left corner, the third group in the central part of the left side, and the fourth group in the center of the graph.

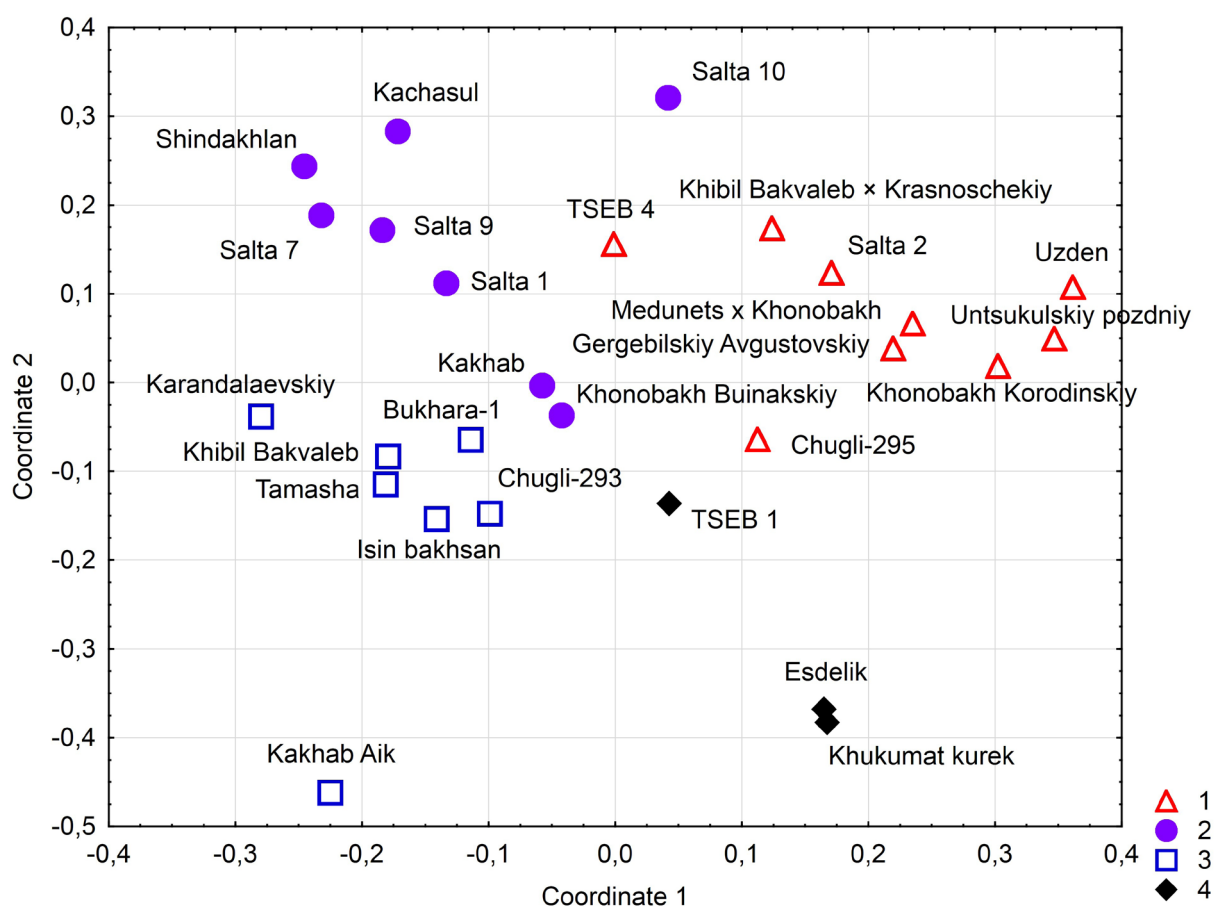


Fig. 2. PCoA distribution of apricot genotypes

Рис. 2. Распределение генотипов абрикоса методом PCoA

Note: the numbers indicate the groups from Table 3

Примечание: цифрами обозначены группы из таблицы 3

Conclusion

Thus, the use of SSR markers for the analysis of polymorphism in apricot genotypes from the Dagestani gene pool demonstrated its effectiveness. Markers made it possible to assess the genetic diversity of apricots of Dagestani origin. The data obtained during genotyping served as the basis for assessing the genetic diversity of the studied breeding material. A number of regularities in the distribution of the main genotype groups were found, while the landraces were evenly distributed among the entire set of apricot genotypes, without forming a separate group. It may attest to the heterogeneous origin of these genotypes, which largely contributed to the shaping of the contemporary apricot gene pool in Dagestan. A tendency towards isolation was revealed among some genotypes selected by collecting missions compared to new cultivars with parents of non-Dagestani origin. The data obtained during this study lead to the conclusion that the main sources of the Dagestani apricot gene pool formation were old-time landraces of different origin.

References / Литература

- Anatov D.M. Phenetic analysis of natural apricot populations in the Mountainous Dagestan for endocarp (stone) features. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):89-94. [in Russian] (Анатов Д.М. Фенетический анализ природных популяций абрикоса Горного Дагестана по признакам эндокарпия (косточки). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):89-94). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-89-94
- Aranzana M.J., Garcia-Màs J., Carbó J., Arús P. Development and variability analysis of microsatellite markers in peach. *Plant Breeding*. 2002;121(1):87-92. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2002.00656.x
- Asadulaev Z.M., Anatov D.M., Osmanov R.M. Apricot in Dagestan (Абрикос в Дагестане). Makhachkala; 2020. [in Russian] (Асадулаев З.М., Анатов Д.М., Османов Р.М. Абрикос в Дагестане. Махачкала; 2020).
- Bailey C.H., Hough L.F. Apricots. In: J. Janick, J.N. Moore (eds). *Advances in Fruit Breeding*. West Lafayette, IN: Purdue University Press; 1975. p.367-383.
- Bourguiba H., Scotti L., Sauvage C., Zhebentyayeva T., Ledbetter C., Krška B. et al. Genetic structure of a worldwide germplasm collection of *Prunus armeniaca* L. reveals three major diffusion routes for varieties coming from the species' center of origin. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:638. DOI: 10.3389/fpls.2020.00638
- Cipriani G., Lot G., Huang W.G., Marrazzo M.T., Peterlunger E., Testolin R. AC/GT and AG/CT microsatellite repeats in peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] isolation, characterization and cross-species amplification in *Prunus*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999;99(1):65-72. DOI: 10.1007/s001220051209
- Dettori M.T., Micali S., Giovinazzi J., Scalabrin S., Verde I., Cipriani G. Mining microsatellites in the peach genome: development of new long-core SSR markers for genetic analyses in five *Prunus* species. *SpringerPlus*. 2015;4:337. DOI: 10.1186/s40064-015-1098-0
- Faust M., Suranyi D., Nyujto F. Origin and dissemination of apricot. *Horticultural Reviews*. 1998;22:225-266.
- Hormaza J.I. Molecular characterization and similarity relationships among apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes using simple sequence repeats. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;104(2-3):321-328. DOI: 10.1007/s001220100684
- Kostina K.F. Application of the botanico-geographic method to the classification of apricot (Primeneniye botaniko-geograficheskogo metoda v klassifikatsii abrikosa). In: *150 years to the Nikita State Botanical Gardens. 1812–1962: collection of scientific papers. Vol. 37 (150 let Gosudarstvennomu Nikitskomu botanicheskomu sadu. 1812–1962: sbornik nauchnykh trudov. T. 37)*. Moscow: Kolos; 1964. p.170-183. [in Russian] (Костина К.Ф. Применение ботанико-географического метода в классификации абрикоса. В кн.: *150 лет Государственному Никитскому ботаническому саду. 1812–1962 : сборник научных трудов. Т. 37*. Москва: Колос; 1964. С.170-183).
- Kostina K.F. Apricot. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 1936; Suppl 83:290 p. [in Russian] (Костина К.Ф. Абрикос. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1936; Приложение 83: 290 с.).
- Krichen L., Audergon J.M., Trifi-Farah N. Assessing the genetic diversity and population structure of Tunisian apricot germplasm. *Scientia Horticulturae*. 2014;172(5):86-100. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.03.038
- Layne R.E.C., Bailey C.H., Hough L.F. Apricots. In: J. Janick, J. Moore (eds). *Fruit Breeding, Vol. 1: Tree and Tropical Fruits*. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.; 1996. p.79-111.
- Lopes M.S., Sefc K.M., Laimer M. Da Câmara Machado A. Identification of microsatellite loci in apricot. *Molecular Ecology Notes*. 2002;2(1):24-26. DOI: 10.1046/j.1471-8286.2002.00132.x
- Maghuly F., Fernandez E.B., Ruthner Sz. Pedryc A., Laimer M. Microsatellite variability in apricots (*Prunus armeniaca* L.) reflects their geographic origin and breeding history. *Tree Genetics and Genomes*. 2005;1(4):151-165. DOI: 10.1007/s11295-005-0018-9
- Mehlenbacher S.A., Cociu V., Hough L.F. Apricots (*Prunus*). In: J.N. Moore, J.R. Ballington (eds). *Acta Horticulturae. Vol. 290. Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops*. 1991. p.63-109. DOI: 10.17660/ActaHortic.1991.290.3
- Messina R., Lain O., Marrazzo M.T. Cipriani G., Testolin R. New set of microsatellite loci isolated in apricot. *Molecular Ecology Notes*. 2004;4(3):432-434. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2004.00674.x
- Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 1980;8(19):4321-4325. DOI: 10.1093/nar/8.19.4321
- Pedryc A., Herman R., Halász J., Guterthuth A., Hegedus A. Apricot breeding – aims and results: 'GNT – 5/47' hybrid. *Hungarian Agricultural Research*. 2009; 2:16-18.
- Raji R., Jannatizadeh A., Fattahi R., Esfahlani M.A. Investigation of variability of apricot (*Prunus armeniaca* L.) using morphological traits and microsatellite markers. *Scientia Horticulturae*. 2014;176:225-231. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.06.033
- Romero C., Pedryc A., Muñoz V. Llacer G., Badenes M.L. Genetic diversity of different apricot geographical groups determined by SSR markers. *Genome*. 2003;46(2):244-252. DOI: 10.1139/g02-128
- Sánchez-Pérez R., Ruiz D., Dicenta F. Egea J., Martínez-Gómez P. Application of simple sequence repeat (SSR) markers in apricot breeding: molecular characterization, protection, and genetic relationships. *Scientia Horticulturae*. 2005;103(3):305-315. DOI: 10.1016/j.scienta.2004.06.009
- Stepanov I.V., Suprun I.I., Anatov D.M., Lobodina E.V., Osmanov R.M. SSR-analysis of some apricot varieties (*Prunus armeniaca* L.) of the Dagestan eco-geographical subgroup. *Horticulture and Viticulture*. 2019;(4):16-20. [in

- Russian] (Степанов И.В., Супрун И.И., Анатов Д.М., Лободина Е.В., Османов Р.М. SSR-анализ некоторых сортов абрикоса (*Prunus armeniaca* L.) дагестанской эколого-географической подгруппы. *Садоводство и виноградарство*. 2019;(4):16-20). DOI: 10.31676/0235-2591-2019-4-16-20
- Testolin R., Marrazzo M.T., Cipriani G., Quarta R., Verde I., Detori M.T. et al. Microsatellite DNA in peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) and its use in fingerprinting and testing the genetic origin of cultivars. *Genome*. 2000;43(3):512-520. DOI: 10.1139/g00-010
- Vavilov N.I. Wild relatives of fruit trees in the Asian part of the USSR and the Caucasus and the problem of the origin of fruit trees (Dikiye rodichi plodovykh derevyev aziatskoy chasti SSSR i Kavkaza i problema proiskhozhdeniya plodovykh derevyev). *Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant Breeding*. 1931;26:85-107. [in Russian] (Вавилов Н.И. Дикие родичи плодовых деревьев азиатской части СССР и Кавказа и проблема происхождения плодовых деревьев. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1931;26:85-107).
- Wang Z., Liu H., Liu J., Li Y., Wu R., Pang X. Mining new microsatellite markers for Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) from SSR-enriched genomic library. *Scientia Horticulturae*. 2014;166:65-69. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.12.004
- Yilmaz K.U., Paydas S., Dogan S., Kafkas S. Genetic diversity analysis based on ISSR, RAPD and SSR among Turkish apricot germplasm in Iran Caucasian eco-geographical group. *Scientia Horticulturae*. 2012;138:138-143. DOI: 10.1016/j.scienta.2012.02.017
- Zhebentyayeva T.N., Reighard G.L., Gorina V.M., Abbott A.G. Simple sequence repeat (SSR) analysis for assessment of genetic similarity in apricot germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;106(3):435-444. DOI: 10.1007/s00122-002-1069-z

Information about the authors

Dzhalaludin M. Anatonov, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Caspian Institute of Bioresources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (CIBR DFRC RAS), 45 M. Gadgieva St., Makhachkala 367000, Russia, djalal@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6725-4086>

Ivan I. Suprun, Cand. Sci. (Biology), Head of a Center, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, supruni@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0355-8395>

Ilya V. Stepanov, Associate Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, ivstepanof@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6251-300X>

Sergey V. Tokmakov, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, ad-a-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2092-7757>

Информация об авторах

Джалалудин Магомедович Анатов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Прикаспийский институт биологических ресурсов – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Россия, 367000 Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45, djalal@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6725-4086>

Иван Иванович Супрун, кандидат биологических наук, заведующий центром, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, supruni@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0355-8395>

Илья Владимирович Степанов, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, ivstepanof@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6251-300X>

Сергей Вячеславович Токмаков, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, ad-a-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2092-7757>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article was submitted on 28.01.2021; approved after reviewing on 22.03.2022; accepted for publication on 01.12.2022. Статья поступила в редакцию 28.01.2021; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 01.12.2022.

Исследование мутагенного эффекта фосфемида на ячмене

Н. В. Тетяников¹, Н. А. Боме²

¹ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия

² Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Николай Валерьевич Тетяников, tetyannikovnv@ya.ru

Актуальность. Метод индуцированного мутагенеза применяется с целью кратковременного повышения частоты мутаций, позволяющих с большей вероятностью получить растения, несущие новые аллели и ценные для селекции признаки. Поиск новых веществ, обладающих высокой мутагенной активностью, представляет интерес для развития мутационной селекции. Для ячменя таким мутагеном является фосфемид.

Материалы и методы. Полевые и лабораторные испытания проводились в 2016–2018 гг. Три генотипа ячменя были обработаны водным раствором препарата фосфемид в концентрациях 0,002% и 0,01%, экспозиция – 3 часа. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методами многофакторного дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Statistica 7. Для средних величин была рассчитана ошибка среднего (S_x). Достоверность различий ($P < 0.05$) определена при помощи t -критерия Стьюдента. Проведена оценка частоты мутаций (Mf), мутагенной результативности (ME) и эффективности (Me).

Результаты и заключение. Выявлено, что наибольший вклад в формирование полевой всхожести семян мутантных популяций в поколениях M_1 и M_2 вносил мутагенный фактор (20,36%), а также взаимодействие факторов «генотип × среда» (18,55%) и «мутаген × среда» (14,93%). Концентрация 0,01% отнесена к полулетальной для двух образцов. В поколении M_2 мутагенная результативность 0,002-процентной концентрации фосфемида превышала 0,01-процентную более чем в 4 раза. Низкая концентрация была более эффективна и действенна для сорта 'Зерноградский 813' (17,43%) и образца Dz02-129 (12,04%). Для образца С.И. 10995 высокая концентрация фосфемида оказалась более эффективной (29,66%), обеспечив высокую частоту мутаций (9,79%) на фоне относительно низкой летальности (33,00%). В спектре мутаций выделено 9 различных типов. В поколении M_3 отчетливое наследование изменений подтвердилось в 46,43% семей. Наибольшее число семей с подтвержденными изменениями отмечено у образца С.И. 10995 в опыте с более высокой концентрацией.

Ключевые слова: индуцированный мутагенез, мутант, зерновые культуры, частота мутаций, химический мутаген

Благодарности: исследования проводятся в рамках реализации государственного задания ФНЦ садоводства и питомниководства № 0432-2021-0003 «Сохранить, пополнить, изучить генетические коллекции сельскохозяйственных растений и создать репозитории плодовых и ягодных культур, заложенные свободными от вредоносных вирусов растениями».

Авторы выражают благодарность главному специалисту Л. И. Вайсфельд за оказание методических консультаций при использовании фосфемида в лабораторных исследованиях.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Тетяников Н.В., Боме Н.А. Исследование мутагенного эффекта фосфемида на ячмене. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):141-151. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-141-151

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-141-151

Studies on mutagenic effect of phosphemide in barley

Nikolay V. Tetyannikov¹, Nina A. Bome²¹ Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia² University of Tyumen, Tyumen, Russia**Corresponding author:** Nikolay V. Tetyannikov, tetyannikovnv@ya.ru

Background. The method of induced mutagenesis is used to temporarily increase the frequency of mutations, allowing a higher probability of obtaining plants with new alleles and traits valuable for breeding. The search for new agents with high mutagenic activity is of particular interest for the development of mutational breeding. A new mutagen for barley is phosphemide.

Materials and methods. Field and laboratory studies were conducted in 2016–2018. Three barley genotypes were treated with an aqueous solution of phosphemide at two concentrations: 0.002% and 0.01%, exposure: 3 hours. Experimental data were statistically processed by the analysis of variance (ANOVA) using Statistica 7. The error of the mean (S_x) was calculated for the mean values. Significance of differences ($P < 0.05$) was determined by Student's t -test. Mutation frequency (Mf), mutagenic effectiveness (ME), and efficiency (Me) were assessed.

Results and conclusion. It was found that the greatest contribution to formation of field seed germination of mutant populations in M_1 and M_2 generations was made by the mutagenic factor (20,36%) and interaction of the genotype $\times$ environment (18,55%) and mutagen $\times$ environment factors (14,93%). The concentration of 0.01% was recognized as semi-lethal for two accessions. In the M_2 generation, the mutagenic effectiveness of the 0.002% phosphemide concentration exceeded that of 0.01% more than 4 times. The low concentration was more effective for cv. 'Zernogradsky 813' (17.43%) and accession Dz02-129 (12.04%). For C.I. 10995, a higher concentration of phosphemide had greater effect (29.66%) providing a high mutation frequency (9.79%) against a relatively low lethality (33.00%). Nine different types were identified in the mutation spectrum. In M_3 generation, distinct inheritance of the changes was confirmed in 46.43% of families. The highest number of families with confirmed changes was recorded for C.I. 10995 in the experiment with a higher concentration.

Keywords: induced mutagenesis, mutant, cereals, mutation frequency, chemical mutagen

Acknowledgements: the research is carried out within the framework of the state task assigned to the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, No. 0432-2021-0003 "Preserve, replenish, and study genetic collections of agricultural plants and establish repositories of fruit and berry crops planted free of viruses".

The authors are grateful to L. I. Weisfeld, Chief Expert, for providing methodological advice in the use of phosphemide in laboratory studies.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Tetyannikov N.V., Bome N.A. Studies on mutagenic effect of phosphemide in barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):141-151. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-141-151

Введение

В условиях растущего влияния контрастности факторов окружающей среды и глобально меняющегося климата минимизация действия абиотических и биотических стрессов представляется важным условием для оптимального развития растений и получения высококачественной продукции. Вместе с тем в научном сообществе широко обсуждается проблема генетической эрозии, возникающая в результате вовлечения в селекционную работу ограниченного числа генотипов, что приводит к сужению генетического разнообразия в возделываемых сортах и утрате отдельных генов или комбинаций генов устойчивости к стрессовым факторам (Second Global Plan..., 2011). Эти процессы обуславливают необходимость создания, поиска и привлечения генетически разнообразного материала в селекционный процесс (Megeersa, 2014). Основопологающую роль в адаптации к отрицательному воздействию факторов окружающей среды играет генетическая изменчивость (Cattivelli et al., 2010).

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – одна из важнейших зерновых культур во всем мире. В селекции ячменя наиболее эффективным способом повышения урожайности и устойчивости к стрессовым факторам является повышение адаптивного потенциала растений за счет внедрения в селекционный процесс генетически разнообразного исходного материала (Kumar et al., 2020). Одним из действенных методов создания нового исходного материала и расширения генетического разнообразия растений является индуцированный мутагенез.

Встречающееся в природе разнообразие растений представляет собой результат хронологических спонтанных мутаций, образовавшихся путем генотипической рекомбинации в популяциях, в условиях стрессового взаимодействия с факторами окружающей среды (Saini et al., 2020). Для искусственного кратковременного повышения частоты мутаций в организме применяются различные физические или химические мутагены. Они позволяют с большей вероятностью получить растения, несущие аллели и признаки, представляющие практическую ценность и экономическую значимость (Jain, 2010). Метод индуцированного мутагенеза считается действенным средством генетической реконструкции сельскохозяйственных растений (Raina et al., 2016; Saravanan, Sabsan, 2019).

Использование мутагенных агентов обеспечивает расширение генетической изменчивости количественных признаков растений за счет образования новых аллелей путем точечных (изменение нуклеотидной последовательности ДНК), хромосомных (инверсия, транслокация, дупликация, делеция) или геномных (полиплоидия, анеуплоидия и гаплоидия) мутаций (Oladosu et al., 2016). При этом наиболее значимые изменения наблюдаются в улучшении адаптивных, продуктивных, качественных характеристик растений (Jankowicz-Cieslak, 2016; Prasad et al., 2022).

На сегодняшний момент существует большое число как физических, так и химических мутагенов, эффективность которых оценивается способностью индуцировать высокую частоту полезных мутаций при минимальном биологическом ущербе (Rapport, 1966; Kodum, Afza 2003). В настоящее время развитие мутационной селекции связано с поиском новых агентов, обладающих высокой мутагенной активностью, и изучением специфичности их действия на различные сельскохозяйственные

культуры. Для ячменя одним из таких мутагенов является фосфемид (ди-(этиленимид)-пиримидил-2-амидофосфорной кислоты).

Фосфемид является алкилирующим соединением, производным этиленимида (Weisfeld et al., 2016). Первые работы по изучению цитогенетического эффекта препарата были проведены в 60–70-е годы прошлого века (Chernov et al., 1963; Chernov, 1964; Weisfeld, 1965). Результаты исследований Л. И. Вайсфельда продемонстрировали ингибирующее действие фосфемиды на митотическую активность клеток, а также зависимость частоты хромосомных перестроек от концентраций препарата. При этом очень высокие концентрации способствовали разрушению веретена деления и фрагментации хромосом. Было сделано предположение о взаимодействии фосфемиды с белками посредством этиленимидных групп и возможном включении в структуру хромосом во время синтеза ДНК благодаря пиримидиновому основанию (Weisfeld, 1965, 2014). Современные исследования влияния фосфемиды на генотипическую изменчивость хозяйственно ценных признаков культурных растений начались после синтеза препарата в 2014 г. Объектом исследования служили сорта озимой и яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) (Bome, 2014; Ripberger, Bome, 2014).

Выявленный мутагенный эффект препарата открыл возможность его использования в расширении генетического разнообразия растений и создании нового исходного материала для практической селекции. Ранее на ячмене фосфемид не применялся, в связи с чем целью данного исследования явилось изучение специфичности действия мутагена и проведение оценки его результативности и эффективности по частоте и спектру мутаций.

Материал и методы исследования

Растительный материал

Объектом исследования послужили три образца ячменя, полученные из мировой коллекции ВИР: 'Зерноградский 813' (к-30453, Россия, var. *erectum*), относящийся к подвиду двурядного ячменя subsp. *distichon* L., и образцы Dz02-129 (к-22934, Эфиопия, var. *nigripallidum*), C.I. 10995 (к-30630, Перу, var. *sinicum*) – подвид многорядного (син. шестирядного) ячменя subsp. *vulgare*. Отобранные генотипы различались по ботанической и географической принадлежности, имели различия в рядности колоса, характере остей, окраске зерновки, а также по результатам предварительной полевой оценки характеризовались как достоинствами, так и недостатками в проявлении количественных признаков и биологических свойств.

Методика обработки мутагеном

Для обработки мутагеном брали по 300 зерен каждого образца ячменя (M_0). Сухие зерна обрабатывали водным раствором препарата фосфемид в концентрациях 0,002% ($2 \cdot 10^{-3} M$) и 0,01% ($1 \cdot 10^{-2} M$), экспозиция составила три часа, после чего промывали их в проточной воде в течение 40 мин. В качестве контроля использовали зерна, выдержанные в дистиллированной воде. Семена высушивались и сразу же высевались на экспериментальном участке. Обработка выполнена в соответствии с методическими указаниями (Weisfeld, 2016).

Полевые исследования

Закладка опыта проводилась в 2016–2018 гг. на экспериментальном участке Тюменского государственного университета. Посев, учеты и наблюдения выполнены

в соответствии с методикой полевого опыта (Dospekhov, 2014) и методикой возделывания и использования индуцированных мутантов (Enken, 1967). Для получения первого поколения (M_1) посев осуществляли по 25 зерен в 4-кратной повторности для каждого варианта. Длина рядка учетной делянки – 1 м, число рядков – 2, междурядье – 15 см, глубина посева – 5-6 см, расстояние между растениями в рядке – 10 см. Растения M_1 убраны индивидуально. Посев второго поколения (M_2) проводили семьями по 20 зерен в каждой. Семья представляет собой потомство колосьев с растений M_1 . Всего высеяно 286 семей. Путем визуальных наблюдений и описания растений M_2 в процессе их вегетации были отобраны измененные по морфологическим признакам и биологическим свойствам формы в контрольных и обработанных мутагеном популяциях сортов. На третье поколение (M_3) высевали семьи по 20 зерен в каждой, собранные с растений второго поколения, имеющие фенотипические уклонения от исходного образца. Всего высеяно 112 семей. В третьем поколении учитывали семьи, в которых четко наследовался измененный признак.

Статистический анализ

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методами многофакторного дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Statistica 7. Для средних величин была рассчитана ошибка среднего (S_x). Достоверность различий ($P < 0.05$) определена при помощи t -критерия Стьюдента. Частоту мутаций (Mf), мутагенную результативность (ME) и эффективность (Me) оценивали на основе расчетов С. Ф. Копзак et al. (1965).

Частота мутаций (Mf) = $PM/OP \times 100$

Мутагенная результативность (ME) = $\frac{Mf}{C \times T}$

Мутагенная эффективность (Me) = $\frac{Mf}{L} \times 100$,

где Mf – частота мутаций, %; PM – число растений с жизнеспособными мутациями, шт.; OP – общее число проанализированных растений, шт.; C – концентрация мутагена, mM; T – время обработки, час; L – процент летальности в поколении M_1 .

Результаты и обсуждение

Под влиянием мутагенной обработки нередко наблюдается угнетение клеточного деления верхушечной и корневой меристемы, что приводит к замедлению ростовых процессов и поздней гибели проростков или же полной неспособности семян к прорастанию (Enken, 1967; Khan et al., 2009). Чувствительность к мутагенному фактору может определяться как видовыми, так и генотипическими особенностями организмов. Одним из показателей, по которому устанавливается степень повреждающего эффекта мутагена, является полевая всхожесть семян.

В первом поколении наибольшее угнетение ростовых процессов отмечено у сорта 'Зерноградский 813' при концентрации 0,01%: снижение всхожести в сравнении с контролем наблюдалось почти в три раза (рис. 1). Такой же эффект был обнаружен у образца Dz02-129 в варианте опыта с более высокой концентрацией. В то же время образец С.И. 10995 не имел достоверных различий по полевой всхожести семян между опытными вариантами и контролем, что говорит о его меньшей чувствительности к мутагенному фактору. Выживаемость контрольных

растений в M_1 составила 83,31–94,34%, в то время как в вариантах опыта с мутагеном – 89,87–100,00%. Предполагается, что наибольшая частота мутаций в поколении M_2 наблюдается при концентрациях мутагена, обеспечивающих выживаемость растений в M_1 на уровне 80–100% (Zoz, 1966).

Во втором поколении общая тенденция к снижению полевой всхожести семян в опытных вариантах сохранилась. Достоверное снижение наблюдалось у сорта 'Зерноградский 813' при концентрации 0,002% и у образца С.И. 10995 при двух концентрациях. В поколении M_3 в опытных вариантах с мутагеном отмечено статистически значимое увеличение всхожести у сорта 'Зерноградский 813' при концентрации 0,002% (на 20,88%), у образцов Dz02-129 и С.И. 10995 – при двух концентрациях (на 18,65–22,87%). Полученные данные позволяют предположить, что повреждающий эффект мутагена наиболее активно проявляется в поколении M_1 , и менее – в M_2 . В последующих поколениях в результате жесткого отбора под действием мутагена наблюдается повышение устойчивости мутантных растений к стресс-факторам.

Оценку значимости и вклада мутагенного фактора в формирование полевой всхожести семян ячменя определяли путем многофакторного дисперсионного анализа. Под фактором «генотип» понимали генетические особенности каждого из изученных коллекционных образцов ячменя. Под фактором «мутаген» рассматривались применяемые концентрации химического мутагена. Фактор «окружающая среда» отражает метеорологические особенности (среднесуточная температура воздуха, количество выпавших осадков) в период роста и развития растений. Наибольший вклад в формирование рассматриваемого признака вносил мутагенный фактор (20,36%), а также взаимодействие факторов «генотип × среда» (18,55%) и «мутаген × среда» (14,93%) (табл. 1).

Меньший эффект отмечен от генотипических особенностей ячменя (9,44%), а также совместного взаимодействия трех факторов (5,67%). Наличие достоверных эффектов мутагенного фактора, а также его взаимодействия с другими факторами подтверждается статистически достоверной значимостью ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$).

Основными показателями, определяющими генетическую активность и эффективность мутагенов, является частота и спектр мутаций. Как правило, частота спонтанных мутаций очень низкая и в среднем составляет 10^{-5} – 10^{-6} событий на локус в поколении (Jansson, Orsahl-Ferstad, 2003; Bhat et al., 2019). В зависимости от используемого мутагена, его концентрации/дозы и экспозиции, сорта и культуры, частота индуцированных мутаций может превышать частоту мутаций естественного возникновения в десятки или сотни раз.

В нашем исследовании видимых изменений в поколении M_1 не наблюдалось. Посев второго поколения проводили семьями (потомство отдельных растений, полученных в M_1). Всего в M_2 было высеяно 286 семей. В опытных вариантах по трем образцам проанализировано 280 семей; если переводить рассматриваемые значения на количество растений, то в семьях опытных вариантов проанализировано 2870 растений. С видимыми изменениями выделено 112 семей, или 217 растений. Суммарная частота мутаций в варианте с меньшей концентрацией составила 6,92%, с высокой – 8,21% (табл. 2).

Мутагенная результативность и эффективность являются важными показателями, отражающими успешность применяемого мутагена для определенной культу-

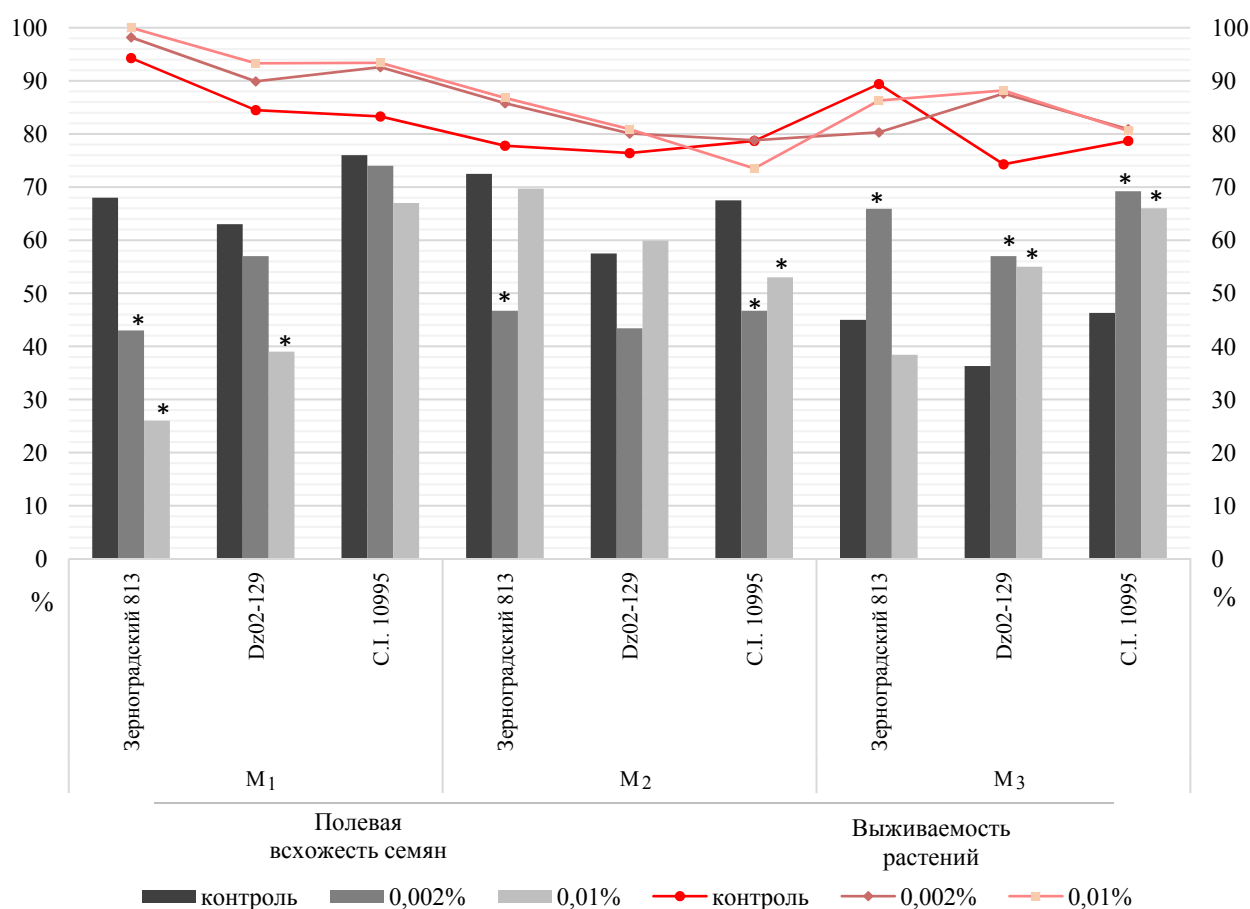


Рис. 1. Влияние мутагена на полевую всхожесть семян и выживаемость растений ячменя в поколениях M₁, M₂, M₃ (различия с контролем достоверны при P < 0,05)

Fig. 1. Effect of the mutagen on field seed germination and survival of barley plants in the M₁, M₂ and M₃ generations (differences with the control are significant at P < 0.05)

Таблица 1. Вклад факторов и их взаимодействия в формирование полевой всхожести семян в поколениях M₁ и M₂

Table 1. Contribution of the factors and their interaction to field seed germination in the M₁ and M₂ generations

Источник варьирования	df	mS	F _{факт.}	P-Значение
Фактор C _A (генотип)	2	863,87	9,24*	0,0004
Фактор C _B (мутаген)	2	1863,40	19,93*	0,0000
Фактор C _C (среда)	1	4,55	0,05	0,8262
C _A × C _B	4	158,47	1,70	0,1646
C _A × C _C	2	1697,67	18,16*	0,0000
C _B × C _C	2	1366,7	14,62*	0,0000
C _A × C _B × C _C	4	259,37	2,77*	0,0360
Неучтенный фактор C _Z	54	93,48	-	-

Примечание: df – степень свободы; mS – средний квадрат; * P < 0,05

Note: df – degrees of freedom; mS – mean squares; * P < 0.05

Таблица 2. Частота мутаций, мутагенная результативность и эффективность фосфемиды в поколении M_2
Table 2. Mutation frequency, mutagenic effectiveness and efficiency of phosphemide in the M_2 generation

Вариант опыта	Число изученных, шт.		Число выделенных, шт.		Mf, %	ME, %	L, %	Me, %
	растений	семей	растений	семей				
0,002%	1445	160	100	60	6,92	1,15	42,00	16,48
0,01%	1425	120	117	52	8,21	0,27	56,00	14,66
Σ мутаген	2870	280	217	112	7,56	-	-	-

Примечание: Mf – частота мутаций, ME – мутагенная результативность, L – процент летальности, Me – мутагенная эффективность

Note: Mf – mutation frequency, ME – mutation effectiveness, L – lethality percentage, Me – mutation efficiency

ры и конкретного генотипа. Под результативностью понимается мера частоты индуцированных мутаций на единицу дозы/концентрации мутагена. Эффективность же показывает отношение частоты мутаций к биологическому ущербу, полученному от мутагенной обработки в M_1 (повреждение всходов, стерильность пыльцы, летальность) (Majhi, Mogali, 2020).

кая концентрация фосфемиды оказалась более эффективной (29,66%), обеспечив высокую частоту мутаций на фоне относительно низкой летальности (33,00%). Частота жизнеспособных мутаций у сорта 'Зерноградский 813' зарегистрирована на уровне 8,03–9,94%; у образцов Dz02-129 – 5,18–5,93%; у С.И. 10995 – 6,20–9,79% (табл. 3).

Таблица 3. Частота мутаций у различных генотипов ячменя, мутагенная результативность и эффективность фосфемиды в поколении M_2
Table 3. Mutagenic frequency in different barley genotypes, effectiveness and efficiency of phosphemide in the M_2 generation

Вариант опыта	Число изученных растений, шт.	Число выделенных растений, шт.	Mf, %	ME, %	L, %	Me, %
Зерноградский 813						
0,002%	392	39	9,94	1,66	57,00	17,43
0,01%	361	29	8,03	0,27	74,00	10,85
Dz02-129						
0,002%	424	22	5,18	0,86	43,00	12,04
0,01%	421	25	5,93	0,20	61,00	9,72
С.И. 10995						
0,002%	629	39	6,20	1,03	26,00	23,84
0,01%	643	63	9,79	0,33	33,00	29,66

Примечание: расшифровка обозначений приведена в таблице 2

Note: see the note to Table 2 for the list of abbreviations

Расчет мутагенной результативности позволил установить, что применяемая 0,002-процентная концентрация мутагена превышала 0,01-процентную более чем в четыре раза. Как видно из таблицы 2, процент летальности в варианте опыта с большей концентрацией был выше (56,00%), что отразилось на снижении общей эффективности (14,66%).

Рассматривая действие мутагена для каждого образца в частности, наблюдалась общая тенденция к снижению мутагенной результативности с увеличением концентрации. Низкая концентрация была более эффективна и действенна для сорта 'Зерноградский 813' (17,43%) и образца Dz02-129 (12,04%), поскольку высокая концентрация способствовала повышению процента летальности, в среднем на 17–18%. Для образца С.И. 10995 высо-

действие химических мутагенов на различные культуры неодинаково, в связи с чем важно иметь информацию о специфичности действия используемого вещества и спектре индуцируемых мутаций при различных концентрациях, позволяющих отбирать нужные формы начиная с поколения M_1 (Pathirana, 2021). Мутации, возникающие под действием фосфемиды, были разнообразны как по характеру проявления, так и по частоте встречаемости различных типов мутантов, однако общий спектр изменений для двух концентраций фосфемиды был одинаков. Обнаруженные нами типы мутантов затрагивали стебель, листья, колос, физиологические показатели роста и развития, встречались системные мутации. Спектр изменений, отклоняющихся от контроля, во втором поколении был достаточно широким: раннеспелые и позд-

неспелые формы, крупноколосые, с изменением разновидности, окраски колоса и остей; выделены растения, у которых отмечено изменение в строении колоса (булавовидность, ветвистость, искривления остей, фурук и выступа колосового стержня). Также отмечены низкорослые, устойчивые к полеганию растения, с восковым налетом на стебле. Некоторые из обнаруженных мутаций представлены на рисунке 2.

Частота встречаемости мутантов при 0,01% уменьшалась в следующем порядке: РС (50,40%) > ИР (20,00%) > КР (17,60%) > ИСК (4,00%) > УП (2,40%) > ОКР (2,40%) > ПС (1,60%) > НР (0,80%) > ВН (0,80%). Высокая доза мутагена способствовала процентному повышению крупных мутаций, затрагивающих структуру колоса.

За фенотипическое проявление морфологических признаков ячменя отвечают гены или группы генов, ал-



Рис. 2. Мутации ячменя, наблюдаемые в поколении M_2 :

a – изменение интенсивности черной окраски колоса; **b** – образование остей у фурукатного генотипа; **c** – изменение расположения колосков в колосе (ветвистость); **d** – низкорослые мутанты; **e** – курчавый колос; **f** – раннее колошение

Fig. 2. Barley mutations observed in the M_2 generation:

a – change in the intensity of black color of the spike; **b** – formation of awns in the hooded genotype; **c** – change in spikelet arrangement on the spike (branching); **d** – dwarf mutants; **e** – curly spike; **f** – early earing

Всего зарегистрировано 266 фенотипических изменений. Были выделены множественные мутанты, относящиеся к разным типам. Так, например, нередко раннеспелость сочеталась с крупным колосом или черная окраска колоса сопровождалась высокой устойчивостью к полеганию и восковым налетом на солоmine. Наибольшее число видимых мутаций обнаружено в варианте с концентрацией мутагена 0,002% – 141 шт., с концентрацией 0,01% – 125 шт. (табл. 4).

Порядок частоты встречаемости различных типов мутантов при концентрации фосфемида 0,002% выглядит следующим образом: КР (32,62%) > РС (19,14%) > УП (13,48%) > ВН (10,64%) > ОКР (9,93%) > ИСК (7,80%) > НР (4,26%) > ИР (1,42%) > ПС (0,71%).

лельное состояние которых определяет тот или иной вариант (Søgaard et al., 1987). Рассматривая мутабельность изучаемых образцов, следует отметить специфичность в индуцировании типов мутаций. Наибольшая доля изменений у сорта 'Зерноградский 813' приходится на раннеспелые (34,72%) и крупноколосые (36,11%) мутанты. Различными изменениями в строении колоса характеризовались 12 растений из 10 семей. Доля низкорослых и позднеспелых мутантов составила 9,72 и 2,78% соответственно (табл. 5).

У образца из Эфиопии выявленные множественные мутанты отчетливо выделялись на фоне неизмененных растений, характеризуясь комплексом таких признаков, как высокая устойчивость к полеганию, сильное проявление

Таблица 4. Спектр мутаций ячменя в поколении M_2 при различных концентрациях фосфемид
Table 4. Mutation spectrum of barley in the M_2 generation at different concentrations of phosphemide

Вариант опыта	Всего мутантов, шт.	Частота встречаемости различных типов мутантов, %								
		РС	ПС	НР	УП	ВН	КР	ОКР	ИСК	ИР
0,002%	141	19,14	0,71	4,26	13,48	10,64	32,62	9,93	7,80	1,42
0,01%	125	50,40	1,60	0,80	2,40	0,80	17,60	2,40	4,00	20,00
Всего	266	33,83	1,13	2,63	8,27	6,02	25,56	6,39	6,02	10,15

Примечание: РС – раннеспелый; ПС – позднеспелый; НР – низкорослый; УП – устойчивый к полеганию; ВН – с восковым налетом на стебле; КР – крупноколосый; ОКР – изменение окраски колоса; ИСК – изменение в строении колоса; ИР – изменение разновидности колоса

Note: PC – early-ripening; PS – late-ripening; NP – semi-dwarf; UP – lodging-resistant; BN – with a wax coating on the stem; KP – large spike; OKP – change in the spike color; ISK – change in the spike structure; IP – change in the ear type

Таблица 5. Мутабельность изучаемых генотипов ячменя в поколении M_2
Table 5. Mutability of the studied barley genotypes in the M_2 generation

Вариант опыта	Частота встречаемости различных типов мутантов, %								
	РС	ПС	НР	УП	ВН	КР	ОКР	ИСК	ИР
Зерноградский 813	34,72	2,78	9,72	–	–	36,11	–	16,67	–
Dz02-129	20,59	1,47	–	23,53	22,06	10,29	22,06	–	–
C.I. 10995	32,18	–	–	8,04	–	29,89	–	–	29,89

Примечание: расшифровка обозначений приведена в таблице 4

Note: see the note to Table 4 for the list of abbreviations

ние воскового налета на солоmine, а также изменение интенсивности черной окраски зерновок и остей. Кроме того, были выделены типы мутаций, затрагивающие изменение сроков вегетации (20,59%), формирование крупных колосов (10,29%), а также позднеспелые формы (1,47%). По литературным источникам известно, что меланиновые пигменты, придающие черную окраску колосу, играют важную роль в адаптации к биотическому и абиотическому стрессу (Long et al., 2019). Образование данного цвета контролируется геном *Blp1*, доминантные аллели которого *Blp1.b* (B), *Blp1.Mb* (B^{mb}), *Blp1.g* (B^g) определяют насыщенный черный, темный и серый цвет зерновки (Shoeva et al., 2018). Вероятно, в нашем исследовании, применение фосфемид индуцировало мутации, затрагивающие данный ген, что стало причиной изменения комплекса признаков, что дает основание полагать о возможном плейотропном действии данного гена. В литературе отмечается возможная связь локуса *Blp1* с массой 1000 зерен и шириной зерновок (Shoeva et al., 2021).

Фуркатный образец C.I. 10995 имел четыре типа мутаций. Большую часть изменений занимают раннеспелые (32,18%), крупноколосые (29,89%) и с изменением разновидности колоса (28,89%). Меньший процент приходится на устойчивые к полеганию – 8,04%. Заставляет обратить на себя внимание тот факт, что в спектре видимых мутаций только у данного образца на 26 растениях в 13 семьях обнаружены мутанты с отличающейся от исходной разновидности, из которых большая доля обнаружена в варианте с высокой концентрацией мутагена (0,01%). В частности, нами были обнаружены остистые многорядные и двурядные формы ячменя. В литературных источниках имеются сведения, согласно которым фуркатность ячменя определяется геном *Kap1* (K), явля-

ясь доминирующим признаком над остистостью, контролируемой группой генов *lks*, и безостостью, связанной с геном *Lks1* (Müller et al., 1995; Huang et al., 2021). Для проявления фуркатности необходимо наличие двух доминантных генов, указывающих на их комплементарный эффект или рецессивный эпистаз нормальной ости над фуркатностью (Woodward, Rasmussen, 1957; Huang et al., 2021). Образование фенотипа с остями может быть обусловлено произошедшей мутацией в пределах данного гена.

Один из полученных нами мутантов, помимо изменения остистости, характеризовался изменением рядности колоса. Известно, что группа генов *Vrs* и выявленные локусы связаны с полным или частичным изменением фертильности боковых колосков, рецессивные аллели которых могут независимо влиять на преобразование двурядного колоса в многорядный (Bull et al., 2017). Главным геном, отвечающим за латеральную фертильность и соответственно рядность колоса ячменя, является *Vrs1*. В нормальном, функционирующем состоянии данный ген обеспечивает проявление фенотипа с двурядным колосом. Проявление многорядного колоса объясняется мутацией в работе данного гена *vrs1* (Alqudah et al., 2016). Как показало наше исследование, фосфемид способен вызывать сильные структурные изменения ячменя посредством мутаций, затрагивающих гены, связанные с важными морфологическими признаками ячменя. В зависимости от генотипа, низкая или высокая концентрация мутагена повышают частоту проявления того или иного типа мутаций.

Подтверждение рецессивных мутаций и наследуемости измененных признаков, выделенных в M_2 , проводится на основе посева третьего поколения. При этом неред-

ко в M_3 могут возникать новые мутации, но с меньшей частотой (Ingelbrecht et al., 2018). Отчетливое наследование изменений, выявленных в M_2 , подтвердилось в 52 семьях из 112 изученных в поколении M_3 , что составило 46,43% (табл. 6).

результатам трехлетней оценки мутантов планируется выделить и размножить лучшие высокопродуктивные и высокоадаптивные линии для дальнейшего изучения в контрольном питомнике, малом и конкурсном сортоиспытании.

Таблица 6. Число семей с подтвержденными и новыми мутациями в поколении M_3

Table 6. Number of families with confirmed and new mutations in the M_3 generation

Вариант опыта	Число семей с изменениями, шт.					
	выделено в M_2		подтверждено в M_3		с новыми изменениями в M_3	
	0,002%	0,01%	0,002%	0,01%	0,002%	0,01%
Зерноградский 813	23	17	4	3	6	-
Dz02-129	12	11	5	9	9	8
C.I. 10995	25	24	9	22	15	16
Всего	60	52	18	34	30	24

Наибольшее число семей с подтвержденными изменениями по признакам устойчивости к полеганию, раннеспелости, остистости и рядности колоса отмечено у образца C.I. 10995 в опыте с более высокой концентрацией – 22 шт., или 91,66%. Минимальный процент семей с подтвержденными мутациями по признакам раннеспелости и крупности колоса (17,39–17,64%) наблюдался у сорта ‘Зерноградский 813’ в двух вариантах опыта. У образца Dz02-129 из Эфиопии общее число семей с наследуемыми изменениями составило 5 и 9 шт., или 41,66 и 81,81% соответственно; при этом выделенные в M_2 множественные мутанты с изменениями окраски колоса, интенсивности воскового налета и устойчивости к полеганию сохранили данный комплекс признаков в последующих поколениях. Общее число семей с изменениями по опыту с концентрацией 0,002% составило 18 шт. (30,00%), с 0,01% – 34 шт. (65,38%). Модификационная изменчивость чаще проявлялась по таким признакам, как ранние сроки созревания, крупный колос, изменения в строении колоса (булавовидность, ветвистость). Признаки низкорослости и позднеспелости в M_3 также не подтвердились. В семьях с крупными мутациями, помимо оценки на константность, проводили отбор новых ценных мутантов в семьях с расщеплением. Так, в 54 семьях поколения M_3 обнаружены растения, отличающиеся от отобранных в поколении M_2 по таким признакам, как раннеспелость, устойчивость к полеганию, а также в трех семьях образца C.I. 10995 наблюдали выщепление остистых многорядных форм.

В последующих поколениях при проведении экологического испытания перспективных мутантов в Центральном регионе РФ (Московская обл.) на опытном поле отделения генофонда и биоресурсов растений ФНЦ садоводства и питомниководства закрепленные признаки передавались по наследству, новых семей с расщеплением не обнаружено. Проведенная комплексная оценка (2020 и 2021 г.) показала, что мутантные растения Тюменской репродукции поколения M_5 , а также местной репродукции поколения M_6 продемонстрировали хорошие адаптивные свойства и высокий биологический потенциал. Были отмечены мутанты, превышающие исходные образцы по полевой всхожести семян, устойчивости к полеганию, а также по ряду элементов продуктивности. По

Заключение

Таким образом, изученный мутагенный эффект фосфемида демонстрирует перспективность использования данного препарата для индуцирования полезных мутаций и расширения генетического разнообразия растений. Полученные результаты показывают генотипическую специфичность в проявлении частоты и спектра мутаций. Обработка мутагеном в двух концентрациях способствовала получению девяти различных типов мутаций, представляющих практический интерес в улучшении ценных признаков ячменя.

Оценка повреждающего эффекта мутагена показала, что наиболее активное угнетение ростовых процессов в опытных вариантах приходится на первое поколение. Концентрация фосфемида 0,01% отнесена к полуметаллической для сорта ‘Зерноградский 813’ и образца Dz02-129, в то время как у образца C.I. 10995 не выявлено достоверных различий с контрольным вариантом (семена, выдержанные в дистиллированной воде). Наибольший вклад в формирование полевой всхожести семян мутантных популяций в M_1 и M_2 вносил мутагенный фактор (20,36%), а также взаимодействие факторов «генотип × среда» (18,55%) и «мутаген × среда» (14,93%).

Самая высокая частота мутаций обнаружена у сорта ‘Зерноградский 813’ в опыте с концентрацией 0,002% – 9,94% и у образца C.I. 10995 при концентрации 0,01% – 9,79%; у образца Dz02-129 она находилась в пределах 5,18–5,93% при двух концентрациях.

Мутагенная результативность применяемой 0,002-процентной концентрации фосфемида на ячмене превышала 0,01-процентную концентрацию в четыре раза. Низкая концентрация была более эффективна и действенна для сорта ‘Зерноградский 813’ (17,43%) и образца Dz02-129 (12,04%). Для образца C.I. 10995 высокая концентрация фосфемида оказалась более эффективной (29,66%), обеспечив высокую частоту мутаций на фоне относительно низкой летальности.

В поколении M_3 отчетливое наследование изменений, выявленных в поколении M_2 , подтвердилось в 52 семьях, что составило 46,43%. Наибольшее число семей с подтвержденными изменениями отмечено у образца C.I. 10995 в опыте с более высокой концентрацией фосфемида.

References / Литература

- Alqudah A.M., Koppolu R., Wolde G.M., Graner A., Schnurbusch T. The genetic architecture of barley plant stature. *Frontiers in Genetics*. 2016;7:117. DOI: 10.3389/fgene.2016.00117
- Bhat T.A., Gulfishan M., Zahid M.T. Induced Mutagenesis. In: *Mutagenesis and Cytotoxicity: A review*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2019. p.11-22.
- Bome N.A. Reaction of winter wheat accessions in the M₁ generation to seed treatment with chemical mutagens (Reaktsiya obraztsov ozimoy myagkoj pshenitsy v M₁ na obrabotku semyan khimicheskimi mutagenami). *Natural and Technical Sciences*. 2014;11-12(78):126-129. [in Russian] [Боме Н.А. Реакция образцов озимой мягкой пшеницы в M₁ на обработку семян химическими мутагенами. *Естественные и технические науки*. 2014;11-12(78):126-129].
- Bull H., Casao M.C., Zwirek M., Flavell A.J., Thomas W.T.B., Guo W., Zhang R. et al. Barley *SIX-ROWED SPIKE3* encodes a putative Jumonji C-type H3K9me2/me3 demethylase that represses lateral spikelet fertility. *Nature Communications*. 2017;8(1):936. DOI: 10.1038/s41467-017-00940-7
- Cattivelli L., Ceccarelli S., Romagosa I., Stanca M. Abiotic stresses in barley: problems and solutions. In: S.E. Ullrich (ed.). *Barley: Production, Improvement, and Uses*. Chichester: Blackwell Publishing Ltd.; 2010. p.282-306. DOI: 10.1002/9780470958636.ch10
- Chernov V.A. Cytotoxic agents in cancer chemotherapy (Tsitotoksicheskiye veshchestva v khimioterapii zlokachestvennykh novoobrazovaniy). Moscow: Meditsina; 1964. [in Russian] [Чернов В.А. Цитотоксические вещества в химиотерапии злокачественных новообразований. Москва: Медицина; 1964].
- Chernov V.A., Grushina A.A., Lytkina L.G. Antineoplastic activity of phosphazene (Protivopukholevaya aktivnost fosfazina). *Farmakologiya i toksikologiya = Pharmacology and Toxicology*, 1963;26(1):102-108. [in Russian] [Чернов В.А., Грушина А.А., Лыткина Л.Г. Противоопухолевая активность фосфазины. *Фармакология и токсикология*. 1963;26(1):102-108].
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]). 5th ed. Moscow: Alyans; 2014. [in Russian] [Доспыхов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс; 2014].
- Enken V.B. The use of experimental mutagenesis in the breeding of legumes and other crops (Ispolzovaniye eksperimentalnogo mutageneza v selektsii bobovykh i drugikh kultur). Moscow: Kolos; 1967. [in Russian] [Енкен В.Б. Использование экспериментального мутагенеза в селекции бобовых и других культур. Москва: Колос; 1967].
- Huang B., Wu W., Hong Z. Genetic interactions of awnness genes in barley. *Genes*. 2021;12(4):606. DOI: 10.3390/genes12040606
- Ingelbrecht I., Jankowicz-Cieslak J., Szurman M., Till B.J., Szarejko I. Chemical mutagenesis. In: M.M. Spencer-Lopes, B.P. Forster, L. Jankuloski (eds). *Manual on Mutation Breeding*. 3rd ed. Rome: FAO/IAEA; 2018. p.51-82.
- Jain S.M. Mutagenesis in crop improvement under the climate change. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010;15(2):88-106.
- Jankowicz-Cieslak J., Till B.J. Chemical mutagenesis of seed and vegetatively propagated plants using EMS. *Current Protocols in Plant Biology*. 2016;1(4):617-635. DOI: 10.1002/cppb.20040
- Jansson C., Opsahl-Ferstad H.G. Mutants and Transgenics – a comparison of barley resources in crop breeding. In: K. Esser, U. Lüttge, W. Beyschlag, F. Hellwig (eds). *Progress in Botany*. Vol. 64. Heidelberg: Springer; 2003. p.42-52. DOI: 10.1007/978-3-642-55819-1_3
- Khan S., Al-Qurainy F., Anwar F. Sodium azide: a chemical mutagen for enhancement of agronomic traits of crop plants. *Environment and We: an International Journal of Science & Technology*. 2009;(4):1-21.
- Kodym A., Afza R. Physical and chemical mutagenesis. *Methods in Molecular Biology*. 2003;236:189-204. DOI: 10.1385/1-59259-413-1:189
- Konzak C.F., Nilan R.A., Wagner J., Foster R.J.. Efficient chemical mutagenesis. *Radiation Botany*. 1965;5:49-70.
- Kumar S., Patial M., Sharma R. Efficient Barley Breeding. In: S.S. Gosal, S.H. Wani (eds). *Accelerated Plant Breeding. Vol. 1 Cereal Crops*. New York, NY: Springer; 2020. p.309-364. DOI: 10.1007/978-3-030-41866-3_13
- Long Z., Jia Y., Tan C., Zhang X-Q., Angessa T., Broughton S. et al. Genetic mapping and evolutionary analyses of the black grain trait in barley. *Frontiers in Plant Science*. 2019;9:1921. DOI: 10.3389/fpls.2018.01921
- Majhi P.K., Mogali S.C. Studies on mutagenic effectiveness and efficiency of gamma rays in greengram [*Vigna radiate* (L.) Wilczek]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2020;9(3):1475-1484. DOI: 10.20546/ijcmas.2020.903.172
- Megersa G. Genetic erosion of barley in North Shewa Zone of Oromiya Region, Ethiopia. *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 2014;6(3):280-289. DOI: 10.5897/IJBC2013.0673
- Müller K. J., Romano N., Gerstner O., Garcia-Marotot F., Pozzi C., Salamini F. et al. The barley Hooded mutation caused by a duplication in a homeobox gene intron. *Nature*. 1995;374(6524):727-730. DOI: 10.1038/374727a0
- Oladosu Y., Rafii M.Y., Abdullah N., Hussin G., Ramli A., Rahim H.A. et al. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2016;30(1):1-16. DOI: 10.1080/13102818.2015.1087333
- Pathirana R. Mutations in plant evolution, crop domestication and breeding. *Tropical Agricultural Research and Extension*. 2021;24(3):124-157. DOI: 10.4038/tare.v24i3.5551
- Prasad B.K., Singh G., Kumar R., Sharma A.K. Induced mutations in barley (*Hordeum vulgare* L.). *The Pharma Innovation Journal*. 2022;11(1):577-584.
- Raina A., Laskar R.A., Khursheed S., Amin R., Tantray Y.R., Parveen K. et al. Role of mutation breeding in crop improvement – past, present and future. *Asian Research Journal of Agriculture*. 2016;2(2):1-13.
- Rapoport I.A. Peculiarities and mechanism of action of supermutagens (Osobennosti i mekhanizm deystviya supermutagenov). In: *Supermutagenes (Supermutageny)*. Moscow: Nauka; 1966. p.9-22. [in Russian] [Рапопорт И.А. Особенности и механизм действия супермутагенов. В кн.: *Супермутагены*. Москва: Наука; 1966. С.9-22].
- Ripberger E.I., Bome N.A. Application of chemical mutagenesis to the selection of valuable genotypes of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Fundamental Research*. 2014;(9-1):90-95. [in Russian] [Рипбергер Е.И., Боме Н.А. Использование химического мутагенеза в расширении границ отбора ценных генотипов мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). *Фундаментальные исследования*. 2014;(9-1):90-95].

- Saini H.K., Akhtar J., Vasistha N.K. Mutagenesis in crop improvement. In: *Classical and Molecular Approaches in Plant Breeding*. Delhi: Narendra Publishing House; 2020. p.137-159.
- Saravanan K., Sabesan T. Physical and chemical mutagenesis methods for development of insect-resistant crop varieties. In: A.K. Chakravarthy, V. Selvanarayanan (eds). *Experimental Techniques in Host-Plant Resistance*. Singapore: Springer; 2019. p.295-301. DOI: 10.1007/978-981-13-2652-3_30
- Second Global Plan of Action for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO; 2011. Available from: <https://www.fao.org/3/i2624e/i2624e00.pdf> [accessed Mar. 16, 2022].
- Shoeva O.Y., Glagoleva A.Y., Kukoeva T.V. Effects of the *Blp1* locus, which controls melanin accumulation in the barley ear, on the size and weight of seeds. *Proceedings on Applied Botany Genetics and Breeding*. 2021;182(2):89-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-89-95
- Shoeva O.Yu., Strygina K.V., Khlestkina E.K. Genes determining the synthesis of flavonoid and melanin pigments in barley. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):333-342. [in Russian] [Шоева О.Ю., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Гены, контролирующие синтез флавоноидных и меланиновых пигментов ячменя. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(3):333-342]. DOI: 10.18699/VJ18.369
- Søgaard B., von Wettstein-Knowles P. Barley: genes and chromosomes. *Carlsberg Research Communications*. 1987;52:123-196. DOI: 10.1007/BF02907531
- Weisfeld L.I. About cytogenetic mechanism of chemical mutagenesis. In: A.I. Opalko, L.I. Weisfeld, S.A. Bekizarova, N.A. Bome, G.E. Zaikov (eds). *Ecological Consequences of Increasing Crop Productivity: Plant Breeding and Biotic Diversity*. New York, NY: Apple Academic Press; 2014. p.259-269.
- Weisfeld L.I. Cytogenetic effect of phosphazene on human and mouse cells in tissue culture (Tsitogeneticheskoye deystviye fosfazina na kletki cheloveka i myshi v kulture tkani). *Genetika = Genetics*. 1965;(4):85-92. [in Russian] [Вайсфельд Л.И. Цитогенетическое действие фосфази́на на клетки человека и мыши в культуре ткани. *Генетика*. 1965;(4):85-92].
- Weisfeld L.I., Bome N.A., Bekuzarova S.A. Mechanism of action of the chemical mutagen phosphemide (Mekhanizm deystviya khimicheskogo mutagena fosfemida). In: *Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference "Prospects for the development of the agro-industrial sector in modern conditions" (Materialy 6-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh")*; April 7-8. 2016; Vladikavkaz, Russia. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University; 2016. p.36-39. [in Russian] [Вайсфельд Л.И., Боме Н.А., Бекузарова С.А. Механизм действия химического мутагена фосфемиды. В кн.: *Материалы 6-й Международной научно-практической конференции «Перспективы развития АПК в современных условиях»*; 7-8 апреля 2016 г.; Владикавказ, Россия. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет; 2016. С.36-39].
- Woodward R.W., Rasmussen D.C. Hood and awn development in barley determined by two gene pairs. *Agronomy Journal*. 1957;49(2):92-94. DOI: 10.2134/agronj1957.00021962004900020009x
- Zoz N.N. Chemical mutagenesis in higher plants (Khimicheskiiy mutagenez u vysshikh rasteniy). In: *Supermutagenesis (Supermutageny)*. Moscow: Nauka; 1966. p.93-105. [in Russian] [Зоз Н.Н. Химический мутагенез у высших растений. В кн.: *Супермутагены*. Москва: Наука; 1966. С.93-105].

Информация об авторах

Николай Валерьевич Тетяников, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, 115598 Россия, Москва, ул. Загорьевская, 4, tetyannikovnv@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8496-5365>

Нина Анатольевна Боме, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Information about the authors

Nikolay V Tetyannikov, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, 4 Zagoryevskaya St., Moscow 115598, Russia, tetyannikovnv@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8496-5365>

Nina A. Bome, Dr. Sci. (Agriculture), Head of a Department, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 26.05.2022; одобрена после рецензирования 26.06.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 26.05.2022; approved after reviewing on 26.06.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Взаимосвязь между содержанием антоцианов в основаниях листовых влагалищ у сортов ячменя и в зерне полученных на их основе гибридов

О. Ю. Шоева^{1,2}, Т. В. Кукоева^{1,2}

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

² Курчатовский геномный центр – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Олеся Юрьевна Шоева, olesya_ter@bionet.nsc.ru

Актуальность. Создание сортов ячменя, накапливающих антоцианы в зерне, является актуальным направлением селекции, которая ведется по генам *Ant1* и *Ant2*. Для оптимизации селекционных схем и выбора исходного материала исследуется взаимосвязь между содержанием антоцианов в основаниях листовых влагалищ у сортов ячменя и в зерне гибридов, полученных на основе этих сортов.

Материалы и методы. Содержание антоцианов в листовых влагалищах оценивали на стадии кущения у 32 сортов и в зрелом зерне отобранных с помощью ДНК-маркеров 11 гибридов.

Результаты и обсуждение. Показано, что содержание антоцианов в листовых влагалищах у исследуемых сортов варьирует от 1 до 191 мг/кг. С помощью кластерного анализа определены три группы сортов – с низким, средним и высоким содержанием антоцианов. У гибридов, полученных при скрещивании сортов, отличающихся содержанием антоцианов в листовых влагалищах, с линией P18 – донором доминантного аллеля гена *Ant2*, содержание антоцианов в зерне варьировало от 22 до 71 мг/кг. Наблюдаемые различия между гибридами определялись генотипами индивидуальных растений и аллельным состоянием гена *Ant2*. Показана слабая корреляция ($r_s = 0,37$, $p = 0,036$) между содержанием антоцианов в листовых влагалищах исходных сортов и в зерне полученных на их основе гибридов.

Заключение. Результаты исследования позволяют оптимизировать селекционные схемы для получения сортов ячменя с высоким содержанием антоцианов в зерне и обосновывают необходимость тестирования содержания антоцианов в зерне индивидуальных линий.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., маркер-опосредованный отбор, функциональное питание, селекция

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант № 21-76-10024. Выращивание растений в тепличном комплексе ЦКП «Ливр» было поддержано бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0017.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Шоева О.Ю., Кукоева Т.В. Взаимосвязь между содержанием антоцианов в основаниях листовых влагалищ у сортов ячменя и в зерне полученных на их основе гибридов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):152-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-152-162

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-152-162

Relationship between the anthocyanin content values in the leaf sheath base of barley cultivars and in the grain of the hybrids derived from them

Olesya Yu. Shoeva^{1,2}, Tatjana V. Kukoeva^{1,2}¹ Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia² Kurchatov Genomic Center, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia**Corresponding author:** Olesya Yu. Shoeva, olesya_ter@bionet.nsc.ru

Background. The development of barley cultivars accumulating anthocyanins in grain is an important task for breeding, which is based on the *Ant1* and *Ant2* genes that control synthesis of these compounds. To optimize the breeding strategy and selection of the initial material, quantitative assay of anthocyanin content in the leaf sheath base of barley cultivars was carried out and the relationship between this parameter for some of the barley cultivars and anthocyanin content in grain of the hybrids derived from them was evaluated.

Materials and methods. The anthocyanin content in the leaf sheath base was studied in 32 barley cultivars in the tillering stage and in mature grains of 11 purple-grain hybrids selected from the hybrid populations using DNA-markers.

Results and discussion. It was shown that there were quantitative differences in the anthocyanin content in the leaf sheath base among barley cultivars, which varied from 1 to 191 mg/kg. A cluster analysis helped to identify three groups of cultivars: with low, medium and high anthocyanin content. The hybrids from crossing cultivars differing in their anthocyanin content in the leaf sheath base with line P18, the donor of the dominant allele of the *Ant2* gene, showed variation of the anthocyanin content in grain from 22 to 71 mg/kg. The observed differences among the hybrids were determined by the genotypes of individual plants and the allelic state of *Ant2*. A weak correlation ($r_s = 0.37$, $p = 0.0362$) was shown between the anthocyanin contents in the leaf sheath base and in the grain of the obtained hybrids.

Conclusion. The results of the study would help to optimize the breeding strategy for the development of new barley cultivars with high anthocyanin content in the grain and substantiate the need to test the anthocyanin content in the grain of individual lines.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., marker-assisted selection, functional food, breeding

Acknowledgements: the study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 21-76-10024. Growing plants in the greenhouse facilities was supported by the budget project of the Institute of Cytology and Genetics, RAS, No. FWNR-2022-0017.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shoeva O.Yu., Kukoeva T.V. Relationship between the anthocyanin content values in the leaf sheath base of barley cultivars and in the grain of the hybrids derived from them. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):152-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-152-162

Введение

У ячменя (*Hordeum vulgare* L., $2n = 2x = 14$, НН) известны формы с фиолетовой окраской зерна, цвет которых обусловлен антоциановыми соединениями, накапливающимися в перикарпии зерновки под контролем двух комплементарно взаимодействующих генов: *Ant1*, картированным на коротком плече хромосомы 7Н, и *Ant2*, локализованным на длинном плече хромосомы 2Н (Zhang et al., 2017; Shoeva et al., 2018). Такие образцы ячменя распространены преимущественно в высокогорных и предгорных районах Эфиопии и Эритреи, Малой Азии, Сирии, Палестины, Месопотамии и Закавказья (Vavilov, 1967). Была показана повышенная антиоксидантная активность фракции отрубей фиолетовозерных образцов ячменя, содержащих антоцианы, по сравнению с белозерными и черnozерными образцами, не содержащими этих соединений (Bellido, Beta, 2009). В настоящее время разрабатываются рецептуры хлебобулочных изделий на основе ячменной муки и/или отрубей, содержащих антоцианы (Martínez-Subirà et al., 2020). Во многих странах, в России в частности, ведутся селекционные программы по улучшению пищевой ценности ячменя с помощью насыщения их зерновок антоциановыми соединениями, в том числе с использованием молекулярных маркеров, разработанных к регуляторным генам биосинтеза антоцианов (Bellido, Beta, 2009; Zhu, 2018; Kukoeva et al., 2020; Loskutov, Khlestkina, 2021; Shvachko et al., 2021).

С помощью полногеномного анализа ассоциаций было установлено, что ген *Ant2* (синоним *Pre2*, *Red lemma* and *pericarp 2*) контролирует антоциановую окраску остей, ушек листового влагалища и жилок леммы (Cockram et al., 2010), а с помощью сравнительного анализа транскрипции показано его участие в формировании фиолетовой окраски перикарпия зерновки (Shoeva et al., 2016). Ген *Ant2* является ортологом генов *Pp3*, *Lc* и *Rb*, контролирующих антоциановую окраску зерна пшеницы, кукурузы и риса соответственно; он кодирует транскрипционный фактор с регуляторным доменом bHLH (Ludwig et al., 1989; Wang, Shu, 2007; Shoeva et al., 2014).

Второй комплементарный ген *Ant1* кодирует регуляторный фактор с доменом R2R3-MYB и, помимо окраски зерна, определяет также антоциановую окраску оснований листовых влагалищ растения (Himi, Taketa, 2015; Shoeva et al., 2015; Zakhrabekova et al., 2015; Yao et al., 2018; Gordeeva et al., 2019). Поскольку одни и те же гены контролируют биосинтез антоцианов в зерне и в вегетативных органах, можно ожидать наличия количественных взаимосвязей между содержанием этих соединений в различных частях растений. Наличие таких взаимосвязей поможет оптимизировать выбор исходного материала при селекции ячменя на повышенное содержание антоцианов в зерне, а также отбор гибридов с окрашенным зерном. Однако возможность прогнозирования содержания антоцианов в зерне по содержанию этих соединений в листовых влагалищах растений исходных генотипов нуждается в экспериментальной проверке.

Целью данной работы является выявление взаимосвязи между содержанием антоцианов в основании листовых влагалищ у сортов ячменя и в зерне полученных на основе этих сортов гибридов.

Материалы и методы

Растительный материал

Для оценки содержания антоцианов в основаниях листовых влагалищ растений были выбраны 32 образца ярового ячменя из коллекций Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (Санкт-Петербург, Россия), ГенАгро (Новосибирск, Россия), NordGen (Альнарп, Швеция) и Gatersleben (Гатерслебен, Германия) (табл. 1). В качестве донора доминантного аллеля гена *Ant2* использовалась линия P18 (i:Bwant1Ant2), которая характеризуется неокрашенным зерном и отсутствием антоцианов в листовых влагалищах растений, обусловленным рецессивными аллелями гена *Ant1* (Gordeeva et al., 2019). Она получена на основе линии PLP (синонимы: BW648, i:BwAnt1Ant2), имеющей фиолетовую окраску зерновки. За исключением линии PLP, все исследуемые образцы имели неокрашенное зерно.

Таблица 1. Используемые в исследовании образцы ячменя

Table 1. Barley accessions used in the current study

Каталожный номер / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение (организация, страна) / Origin (institution, country)	Год включения в реестр / Year of inclusion in the catalogue
ИЦиГ-8515	Авалон	Франция	2014
ИЦиГ-8516	Алей	ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», Барнаул, Россия	2016
ИЦиГ-8517	Арна	ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства», Казахстан	1997
ИЦиГ-8464	Арчекас	Кемерово, Россия	2003?
к-30984	Биом	СибНИИРС, Новосибирская область, Россия	2007
ИЦиГ-8521	Ворсинский 2	Алтайский научно-исследовательский институт земледелия и селекции сельскохозяйственных культур, АНИИЗиС, Россия	2011
к-30845	Золотник	Алтайский НИИ земледелия и селекции с/х культур, АНИИЗиС, Россия	2003

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Каталожный номер / Catalogue No.	Название / Name	Происхождение (организация, страна) / Origin (institution, country)	Год включения в реестр / Year of inclusion in the catalogue
к-29435	Импульс	Красноуфимская селекционная станция Свердловская область, Россия	1988
к-19829	Красноярский 1	Красноярский НИИСХ, Россия	1967
к-26740	Курьер	Краснодарский НИИСХ, Россия	1981
к-27058	Линия 421	ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия	1982
к-29622	Маяк	Красноярск, Россия	1990
ИЦиГ-8530	Мерит 57	США	2010
к-15010	Местный	Дагестан, Россия	1935
к-20042	Л. ANOR 2550/63	Эфиопия	1969
к-19417	Московский 121	НИИ СХ Центральных районов нечерноземной зоны, Россия	1964
к-26848	Новосибирский 80	СибНИИРС, Новосибирская область, Россия	1986
к-29465	Носовский 11	Чернигов, Украина	1989
ИЦиГ-8458	Омский голозерный 2	ФГБНУ «Сибирский НИИСХ», Омск, Россия	2008
к-29496	Оренбургский кормовой	Оренбургский НИИ сельского хозяйства, Россия	1989
к-28885	Рейд	Красноуфимская селекционная станция, Свердловск, Россия	1986
к-31110	Саша	ФГБНУ «Сибирский НИИСХ», Омск, Россия	2012
к-29009	Светик	Архангельская область, Россия	1986
к-30846	Сигнал	АНИИЗиС, СибНИИРС, Россия	1997
к-30245	Соболек	Красноярский НИИСХ, Россия	1995
ИЦиГ-8533	Сымбат	ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства», Казахстан	2011
к-29001	Таганай	Челябинская область, Россия	1986
ИЦиГ-8535	Танай	СибНИИРС, Новосибирская область, Россия	2014
к-30150	Тарский 1	СибНИИСХ, Омская область, Россия	1994
NGB22812	Bowman	Государственный университет Северной Дакоты, США	1985
HOR13475	Golden Promise	Великобритания	1999
NGB22213	PLP	Государственный университет Северной Дакоты, США	2010

Примечание: к-... – номер по каталогу ВИР; ИЦиГ-... – каталожный номер ГенАгро; HOR... – каталожный номер Gatersleben; NGB... – каталожный номер NordGen

Note: к-... – catalogue number in the VIR collection; ИЦиГ-... – catalogue number in the GenAgro collection; HOR... – catalogue number in the Gatersleben collection; NGB... – catalogue number in the NordGen collection

Гибридные растения поколения F_2 с доминантными аллелями генов *Ant1* и *Ant2* получали при скрещивании образцов ячменя, отобранных на основе содержания антоцианов в основаниях их листовых влагалищ, с линией Р18. Для этого у колосков с вышедшими на два сантиметра из трубки остями удаляли недозревшие пыльники с последующей их изоляцией и опылением через 1–2 дня зрелой пыльцой от молодых пылящих колосьев линии Р18. Полученные гибридные растения F_1 самоопылялись. В поколении F_2 проводился отбор заданных генотипов.

Количественная оценка содержания антоцианов

Растения для количественной оценки содержания антоцианов в листовых влагалищах и в зерне выращивали в условиях гидропонной теплицы ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия). Содержание антоцианов оценивали с помощью спектрофотометра по методике, описанной ранее (Abdel-Aal, Hucl, 1999). Материал оснований листовых влагалищ длиной пять сантиметров, считая от корневой шейки, пяти растений ячменя на стадии кущения или 20–30 зрелых зерен измельчали до однородной массы в жидком азоте или в блендере соответственно. Экстракцию проводили в растворе 1-процентной HCl в метаноле (на 1 г навески 5 мл раствора) при 4°C в течение 12 часов с последующим центрифугированием и отбором пробы для измерения. Оптическую плотность антоцианов определяли в трех технических повторностях при длине волны $\lambda = 530$ нм. Измерения проводили на спектрофотометре SmartSpec TM Plus Spectrophotometer (Bio-Rad Laboratories, USA). Сумму антоцианов рассчитывали с использованием коэффициента экстинкции, равного $25,965 \text{ моль}^{-1} \text{ см}^{-1}$ (в пересчете на цианидин-3-глюкозид, мг/кг).

Маркер-контролируемый отбор

Семена гибридов второго поколения F_2 , полученные в результате скрещивания сортов, отобранных на основе содержания антоцианов в листовых влагалищах растений, с линией Р18, высаживали в ванну гидропонной теплицы ИЦиГ СО РАН (Новосибирск, Россия). Из молодых листьев выделяли ДНК согласно ранее описанной методике (Plaschke et al., 1995). Выделенную ДНК генотипировали с помощью ПЦР с использованием праймеров, амплифицирующих участки генов *Ant1* и *Ant2* (табл. 2). Праймеры были разработаны на основе нуклеотидных последовательностей генов *Ant1* (NCBI: KP265977) и *Ant2* (NCBI: KX035100), а также найденных по гомологии последовательностей этих генов в пангеноме ячменя (Jayakodi et al., 2020). При множественном выравнивании выявленных последовательностей обнаружены инсерции/делеции, фланкирующим областям которых подобраны праймеры. ПЦР-продукты разной длины, получаемые с помощью разработанных праймеров, соответствовали разным аллелями генов *Ant1* и *Ant2*.

Реакционную смесь для ПЦР объемом 20 мкл, содержащую 5 мкл ДНК, 1,8 мМ MgCl_2 , 6 мкл H_2O , по 0,2 мМ каждого дНТФ, по 1 мкМ прямого и обратного специфических праймеров, 1 ед. ДНК-полимеразы *Taq*, амплифицировали в режиме TOUCHDOWN: 13 циклов: предденатурация – 2 мин при 94°C, денатурация – 15 с при 94°C, отжиг матрицы с праймерами – 30 с при 65°C с понижением на 0,7°C/цикл, элонгация – 45 с при 72°C; 24 цикла: денатурация – 15 с при 94°C, отжиг матрицы с праймерами – 30 с при 56°C, элонгация – 30 с при 72°C; достраивание ПЦР-фрагментов – 5 мин при 72°C. Результаты ПЦР анализировали с помощью электрофоретического анализа в 2-процентном агарозном геле и последующей съемки

в гель-документирующей системе BioRad (Bio-Rad Laboratories).

Статистическая обработка результатов

Статистические гипотезы проверяли в программе Statistica v. 6.1 (StatSoft, Inc.). Достоверность различий между содержанием антоцианов в зерне у индивидуальных растений ячменя оценивали с помощью непараметрического *U*-критерия Манна – Уитни, принимая отличия значимыми при $p < 0,05$. Кластерный анализ проводили с помощью метода Варда, используя в качестве меры расстояния между объектами кластера расстояния городских кварталов (манхэттенское расстояние).

Влияние на содержание антоцианов в зерне таких факторов, как «генотип исходного сорта», «генотип индивидуального растения», «аллельное состояние гена *Ant1*» и «аллельное состояние гена *Ant2*», определяли с использованием непараметрического *H*-критерия Краскала – Уоллиса, с *post-hoc* тестированием различий между группами критерием Даннета.

Корреляцию между содержанием антоцианов в листовых влагалищах растений исходных сортов и в зерне полученных на их основе гибридов оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Результаты

Содержание антоцианов

в листовых влагалищах растений ячменя

Содержание антоцианов в основаниях листовых влагалищ растений было оценено у 32 сортов/линий ячменя, росших одновременно в условиях гидропонной теплицы. Концентрация антоцианов у исследуемых образцов варьировала в широком диапазоне от 1 до 191 мг/кг с минимальным содержанием антоцианов у сорта 'Светик' и максимальным – у сортов 'Рейд' и 'Авалон' (Приложение)¹. На основе полученных данных проведен кластерный анализ, с помощью которого все исследуемые образцы разделились на три группы (рис. 1). Первая группа, в которую вошли 14 сортов, характеризовалась отсутствием или низким содержанием антоцианов (концентрация которых варьировала от 1 до 45 мг/кг). Вторая группа со средним содержанием антоцианов (52–85 мг/кг) насчитывала 11 образцов ячменя. В группу с высоким содержанием антоцианов (105–109 мг/кг) попало 7 сортов.

На основе данных кластерного анализа были выбраны три сорта: 'Golden Promise', 'Красноярский 1' и 'Биом', которые характеризовались низкой, средней и высокой концентрациями антоцианов в основаниях листовых влагалищ растений соответственно. Отобранные сорта скрещивали с донором доминантного аллеля гена *Ant2* – линией Р18.

Генотипирование и отбор гибридов ячменя

ДНК гибридов второго поколения F_2 , полученных в результате скрещивания сортов 'Golden Promise', 'Красноярский 1' и 'Биом' с линией Р18, была генотипирована с помощью праймеров, амплифицирующих фрагменты генов *Ant1* и *Ant2*. Амплифицируемые ПЦР-фрагменты отличались по длине между родительскими формами, что позволило точно определить происхождение аллелей этих генов у полученных гибридов. В качестве примера на рисунке 2 приведены результаты генотипирования гибридов F_2 Красноярский 1 × Р18.

¹ Electronic supplementary material. The online version of this article is available at (<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-152-162>).

Таблица 2. Структура и характеристики праймеров, используемых в работе

Table 2. Structure and characteristics of the primers used in the current study

Ген / Gene	Структура праймера, 5' → 3' / Primer structure, 5' → 3'	Т отжига, С° / Annealing T, C°	Длина ПЦР-продукта, пн / PCR product length, bp
Ant1	F: GCGGCTTGATTTGTTTCATA	55	455, 488
	R: TTAAATGGCGAGGTAAGGT		
Ant2	F: GCTGGAACACACGTACAAGA	55	514, 515, 635, 683, 719
	R: CTTTGAGCTATGGAGACCAAGAA		

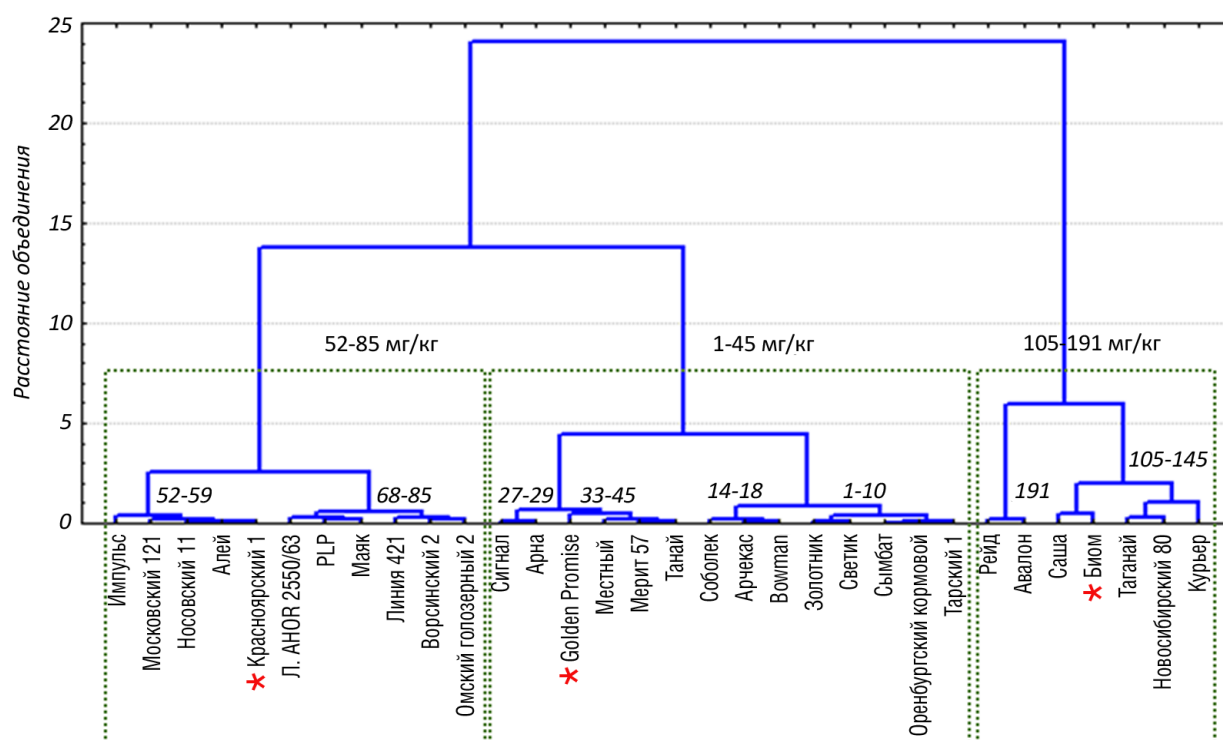


Рис 1. Дендрограмма 32 сортов/линий ячменя, построенная на основе данных по содержанию антоцианов в основаниях листовых влагалищ растений (зелеными прямоугольниками отмечены три кластера, в которых выделены подкластеры; цифры указывают варьирование концентраций антоцианов в листовых влагалищах растений в каждой из выделенных групп;

* – сорта, отобранные для гибридизации с донором доминантного аллеля гена *Ant2*)

Fig. 1. Dendrogram of 32 barley cultivars/lines built on the basis of the data on the anthocyanin content in the leaf sheath base of plants (green rectangles mark three clusters, in which subclusters are identified; the numbers indicate the variation in anthocyanin content in the leaf sheath base of plants in each of the selected group;

* – cultivars selected for crossing with the donor of the dominant allele of the *Ant2* gene)

ПЦР-продукт, полученный с помощью праймеров к гену *Ant1*, у сорта 'Красноярский 1' имеет длину 488 пн, а у линии Р18 – 455 пн. Поскольку сорт 'Красноярский 1' имеет окраску листовых влагалищ, а линия Р18 и сорт 'Bowman' не имеют, то можно предположить, что выявляемые с помощью этих праймеров аллели генов *Ant1* у этих сортов являются соответственно доминантным и рецессивным. ПЦР-продукты, получаемые с помощью праймеров к гену *Ant2*, также отличаются по длине: доминантный аллель гена *Ant2*, выявляемый у линий РЛР и Р18, имеет длину 514 пн, а рецессивный аллель *ant2* сорта 'Красноярский 1' – 719 пн. Все гибриды, несущие доминантные аллели генов *Ant1* и *Ant2* в гомозиготном или гетерозиготном состоянии, харак-

теризовались фиолетовой окраской зерна. Для оценки количественного содержания антоцианов в зерне были выбраны фиолетовозерные гибриды № 2, № 9 и № 16 (табл. 3). Сходным образом с помощью генотипирования гибридов из популяций F₂ Golden Promise × Р18 и Биом × Р18 были отобраны пять и три гибрида соответственно (см. табл. 3).

Содержание антоцианов в зерне у гибридов

Проведена количественная оценка содержания антоцианов в зерне у отобранных гибридов (см. табл. 3). Показано, что существуют статистически значимые отличия в содержании антоцианов в зерне у гибридов, отобранных из одной гибридной комбинации.

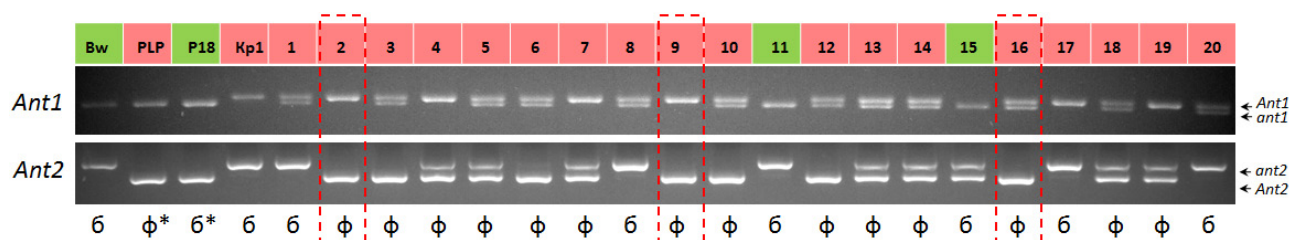


Рис. 2. Генотипирование сортов 'Bowman' (Bw), 'Красноярский 1' (Kp1), линий PLP, P18 и гибридов F_2 , полученных в результате скрещивания сорта 'Красноярский 1' с линиями P18 (зеленым и розовым цветом показана окраска оснований листовых влагалищ; цвет зерна: 6 – белый, Φ – фиолетовый; * – образцы имеют разные аллели гена *Ant1*, которые не выявляются с помощью используемых праймеров. Выделены образцы, отобранные для количественного анализа содержания антоцианов в зерне)

Fig. 2. Genotyping of cvs. 'Bowman' (Bw) and 'Krasnoyarsky 1' (Kp1), lines PLP and P18, and F_2 hybrids obtained by crossing cv. 'Krasnoyarsky 1' with P18 (green and pink show pigmentation of the leaf sheath bases; grain color: (6) white, (Φ) purple; * – the accessions have different alleles of the *Ant1* gene, which are not detected with the primers used. The accessions selected for quantitative analysis of anthocyanin content in the grain are marked with red rectangles)

Таблица 3. Данные генотипирования по генам *Ant1* и *Ant2* и количественная оценка содержания антоцианов в зерне у гибридов

Table 3. *Ant1* and *Ant2* genotyping data and the amount of anthocyanins in the grain of hybrid plants

Гибридная комбинация / Hybrid combination	Номер растения / Plant No.	Аллельное состояние гена <i>Ant1</i> / Allelic state of <i>Ant1</i>	Аллельное состояние гена <i>Ant2</i> / Allelic state of <i>Ant2</i>	Содержание антоцианов в зерне, мг/кг / Anthocyanin content in grain, mg/kg
Golden Promise × P18	2	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2ant2</i>	35,0 ± 1,4 ^a
	11	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2ant2</i>	42,2 ± 3,9 ^b
	21	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	65,3 ± 7,9 ^c
	29	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2ant2</i>	22,4 ± 2,0 ^d
	33	<i>Ant1ant1</i>	<i>Ant2ant2</i>	64,2 ± 5,0 ^c
Биом × P18	23	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	39,8 ± 2,4 ^a
	35	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	61,0 ± 1,7 ^b
	38	<i>Ant1ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	71,6 ± 14,7 ^b
Красноярский 1 × P18	2	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	55,1 ± 6,5 ^a
	9	<i>Ant1Ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	55,4 ± 3,8 ^a
	16	<i>Ant1ant1</i>	<i>Ant2Ant2</i>	33,8 ± 3,4 ^b

Примечание: Разные надстрочные индексы указывают на статистически достоверные различия между гибридами в содержании антоцианов в зерне при $p = 0,050$ (U -тест); сравнения проводились между гибридами одной и той же гибридной комбинации

Note: Different superscripts indicate statistically significant differences between the hybrids in anthocyanin content in grain at $p = 0.050$ (U -test); comparisons were made between the hybrids of the same hybrid combination

Так, в комбинации Golden Promise × P18 зерно растения № 29 содержало наименьшее количество антоцианов ($22,4 \pm 2,0$ мг/кг), что почти в три раза меньше, чем у гибридов № 21, № 33, содержащих $65,3 \pm 7,9$ и $64,2 \pm 5,0$ мг/кг антоцианов соответственно.

В гибридной комбинации Биом × P18 содержание антоцианов варьировало от $39,8 \pm 2,4$ у гибрида № 23 до $71,6 \pm 14,7$ мг/кг у гибрида № 38.

В гибридной комбинации Красноярский 1 × P18 наименьшее содержание антоцианов, которое составило $33,8 \pm 3,4$ мг/кг, было отмечено у растения № 16; два других отобранных гибрида № 2 и № 9 содержали значимо больше антоцианов в зерне, их концентрация составила $55,1 \pm 6,5$ и $55,4 \pm 3,8$ мг/кг соответственно.

Анализ взаимосвязи между содержанием антоцианов в листовых влагалищах и в зерне

Используя данные о содержании антоцианов в зерне, листовых влагалищах растений исходных сортов, аллельном состоянии генов *Ant1* и *Ant2* для одиннадцати гибридов, пять из которых были получены на основе сорта 'Golden Promise' и по три гибрида – на основе сортов 'Биом' и 'Красноярский 1', с помощью H -критерия Краскела – Уоллиса был проведен анализ влияния факторов «генотип исходного сорта», «генотип индивидуального растения», «аллельное состояние гена *Ant1*» и «аллельное состояние гена *Ant2*» на содержание антоцианов в зерне гибридных растений (табл. 4).

Таблица 4. Оценка влияния различных факторов на содержание антоцианов в зерне гибридов с помощью *H*-критерия Краскела – Уоллиса**Table 4.** Effects of different factors on anthocyanin content in the grain of hybrid plants assessed by the Kruskal-Wallis *H*-test

Фактор / Factor	Группа / Group	Размер группы / Group size	Сумма рангов / Sum of ranks	df	H	Уровень значимости / <i>p</i> -value
Генотип родительского сорта / Genotype of parental cultivar	Golden Promise	15	227	2	3,46	0,177
	Биом	9	199			
	Красноярский 1	9	135			
Генотип индивидуального растения / Genotype of an individual plant	2 (GP)	3	21	10	29,27	0,001*
	2 (Кр1)	3	59			
	9	3	57			
	11	3	39			
	16	3	19			
	21	3	80			
	23	3	35			
	29	3	6			
	33	3	81			
	35	3	75			
	38	3	89			
Аллельное состояние гена <i>Ant1</i> / Allelic state of <i>Ant1</i>	гомозигота	24	372	1	2,12	0,146
	гетерозигота	9	189			
Аллельное состояние гена <i>Ant2</i> / Allelic state of <i>Ant2</i>	гомозигота	21	414	1	4,55	0,033*
	гетерозигота	12	147			

Примечание: * – статистически достоверное влияние фактора

Note: * – statistically significant effect of the factor

Показано, что из перечисленных факторов значимое влияние на содержание антоцианов в зерне оказывают «генотип индивидуального растения» и «аллельное состояние гена *Ant2*». В последнем случае у растений, несущих доминантные аллели гена *Ant2* в гомозиготном состоянии было больше антоцианов, чем у гетерозиготных ($54,56 \pm 14,14$ vs $40,96 \pm 16,12$; $p = 0,017$, тест Даннета), тогда как в случае гена *Ant1* таких закономерностей не выявлено ($56,53 \pm 19,07$ vs $47,02 \pm 14,40$, $p = 0,133$, тест Даннета).

Показано наличие слабой корреляции между содержанием антоцианов в основаниях листовых влагалищ исходных сортов ячменя и в зерне полученных на основе этих сортов гибридов ($r_s = 0,37$, $p = 0,036$).

Обсуждение

На сегодняшний день создание сортов зерновых культур, накапливающих антоциановые соединения в зерне, является актуальным направлением селекции (Bellido, Beta, 2009; Zhu, 2018; Kukoeva et al., 2020; Loskutov, Khlestkina, 2021; Shvachko et al. 2021). Ее эффективность может быть повышена за счет применения знаний о молекулярно-генетических основах синтеза этих соединений у растений. У ячменя синтез антоцианов в перикарпии зерновки контролируют два комплементарно взаимодействующих гена – *Ant1* и *Ant2*. С помощью индуцированного мутагенеза было показано, что оба эти гена необходимы также для синтеза антоцианов в вегетатив-

ных органах (Franckowiak et al., 1997). При этом наличие окраски вегетативных органов зачастую не сопровождается окраской зерна. Хотя на синтез антоцианов существенное влияние оказывают условия окружающей среды (Landi et al., 2015), при одинаковых условиях выращивания между образцами ячменя существуют количественные различия в содержании антоцианов. Так, содержание антоцианов в зерне образцов ячменя из коллекции ВИР одной и той же вегетации варьировало от 37 до 145 мг/кг (Lukina et al., 2021), а в проведенном исследовании – от 1 до 191 мг/кг в основаниях листовых влагалищ растений и от 22 до 71 мг/кг в зерне у гибридов. Количественные отличия могут быть обусловлены различными аллельными вариантами генов, контролирующими биосинтез антоцианов.

Описан аллель гена *Ant1* с делецией 25 нуклеотидов в 3'-некодирующей области, который был ассоциирован с отсутствием антоцианов в листовых влагалищах у сортов 'Bowman' и 'Morex', тогда как у линии BW762 и сорта 'Bonus' с интенсивной окраской листовых влагалищ такая делеция не выявлена (Zakhrabekova et al., 2015). Кроме этого, обнаружены однонуклеотидные замены в промоторной области гена *Ant1*, которые предположительно могут влиять на количественные отличия в содержании антоцианов в листовых влагалищах (Shoeva et al., 2015).

Аллельные варианты также выявлены для гена *Ant2*. Среди европейских сортов распространен аллель с делецией 16 нуклеотидов в кодирующей области гена, ассоциированный с отсутствием антоциановой пигментации вегетативных органов (Cockram et al., 2010), тогда как из 108 сортов из коллекции ячменя ИЦИГ СО РАН такой аллель обнаружен лишь у сорта 'Арчекас' (неопубликованные данные). Ранее у фиолетовозерной линии ячменя PLP была описана делеция 179 пн в промоторе гена *Ant2* (Shoeva et al., 2016), для которой, однако, не показано ассоциации с синтезом антоцианов в перикарпии зерновки (Zhou et al., 2021). Кроме определенных аллелей, на эффективность синтеза антоцианов могут влиять особенности его регуляции. Так, ранее было показано, что при наличии доминантного аллеля одного из генов, контролирующих синтез антоцианов, происходит существенное усиление транскрипции комплементарного ему гена при условии, что последний также находится в доминантном состоянии (Gordeeva et al., 2019). Описанная регуляторная петля с положительной обратной связью была подтверждена экспериментально: с помощью сверхэкспрессии только гена *Ant1* в зерне ячменя были получены образцы с фиолетовой окраской зерновки (Zhou et al., 2021).

Поскольку одни и те же гены контролируют синтез антоциановых пигментов в вегетативных органах и в зерне, можно предположить наличие количественной взаимосвязи между содержанием антоцианов в этих органах, тестирование которой было проведено в данной работе. Для этого были получены и отобраны с помощью молекулярных маркеров гибриды ячменя, у которых доминантный аллель гена *Ant2* имел общее происхождение от линии P18, тогда как доминантные аллели генов *Ant1* были унаследованы от родительских сортов и отличались между гибридами. Полученные гибриды отличались содержанием антоцианов в зерне.

Между содержанием антоцианов в листовых влагалищах исходных растений и в зерне полученных гибридов была выявлена слабая, но значимая корреляция. Среди дополнительных факторов, определяющих содержание антоцианов в зерне, были выявлены такие, как «генотип

индивидуального растения» и «аллельное состояние гена *Ant2*». В последнем случае наблюдалось повышенное содержание антоцианов в зерне у линии с доминантным аллелем гена *Ant2* в гомозиготном состоянии по сравнению с линиями, у которых доминантный аллель этого гена находился в гетерозиготном состоянии.

На молекулярном уровне фактор «генотип индивидуального растения» подразумевает наличие в геноме ячменя, кроме генов *Ant1* и *Ant2*, дополнительных генов, которые влияют на содержание антоцианов в зерне, и вследствие комбинативной изменчивости разные гибриды имеют разные аллели этих генов. К таким генам можно отнести структурные гены, кодирующие ферменты метаболического пути биосинтеза антоцианов, а также многочисленные гены, кодирующие репрессоры, и малые некодирующие молекулы РНК (miRNA) (LaFountain, Yao-Wu, 2021).

Заключение

Проведенное исследование показало, что несмотря на наличие общих генов *Ant1* и *Ant2*, контролирующих синтез антоцианов одновременно и в зерне, и в вегетативных органах, определяющее влияние на содержание антоцианов в зерне у гибридов оказывает генотип индивидуального растения, что подразумевает, кроме генов *Ant1* и *Ant2*, наличие дополнительных генов, модулирующих синтез этих соединений. С практической точки зрения полученные результаты позволяют обосновать необходимость отбора и тестирования на содержание антоцианов индивидуальных линий, полученных в рамках одной гибридной комбинации, поскольку количественные отличия между ними в содержании антоцианов в зерне могут быть существенными.

References / Литература

- Abdel-Aal E.S.M., Hucl P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*. 1999;76(3):350-354. DOI: 10.1094/CCHEM.1999.76.3.350
- Bellido G.G., Beta T. Anthocyanin composition and oxygen radical scavenging capacity (ORAC) of milled and pearled purple, black, and common barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009;57(3):1022-1028. DOI: 10.1021/jf802846x
- Cockram J., White J., Zuluaga D.L., Smith D., Comadran J., Macaulay M. et al. Genome-wide association mapping to candidate polymorphism resolution in the unsequenced barley genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010;107(50):21611-21616. DOI: 10.1073/pnas.1010179107
- Franckowiak J.D., Lundqvist U., Konishi T. New and revised descriptions of barley genes. *Barley Genetics Newsletter*. 1997;26:22-516.
- Gordeeva E.I., Glagoleva A.Yu., Kukoeva T.V., Khlestkina E.K., Shoeva O.Yu. Purple-grained barley (*Hordeum vulgare* L.): marker-assisted development of NILs for investigating peculiarities of the anthocyanin biosynthesis regulatory network. *BMC Plant Biology*. 2019;19(Suppl 1):52. DOI: 10.1186/s12870-019-1638-9
- Himi E., Taketa S. Isolation of candidate genes for the barley *Ant1* and wheat *Rc* genes controlling anthocyanin pigmentation in different vegetative tissues. *Molecular Genetics and Genomics*. 2015;290(4):1287-1298. DOI: 10.1007/s00438-015-0991-0

- Jayakodi M., Padmarasu S., Haberer G., Bonthala V.S., Gundlach H., Monat C. et al. The barley pan-genome reveals the hidden legacy of mutation breeding. *Nature*. 2020;588(7837):284-289 DOI: 10.1038/s41586-020-2947-8
- Kukoeva T.V., Strygina K.V., Glagoleva A.Yu., Grigoryev Yu.N., Shoeva O.Yu., Khlestkina E.K. Development of a genetic-breeding approach for obtaining new varieties of barley with an increased content of anthocyanins in grain. In: *Genetic Diversity and Plant Breeding: reports and presentations of the V International Conference (Novosibirsk, November 11–13, 2020) (Genofond i selektsiya rasteniy: doklady i soobshcheniya V Mezhdunarodnoy konferentsii [Novosibirsk, 11–13 noyabrya 2020 g.]*. Novosibirsk; 2020. p.165-168. [in Russian] [Кукоева Т.В., Стрыгина К.В., Глаголева А.Ю., Григорьев Ю.Н., Шоева О.Ю., Хлесткина Е.К. Разработка генетико-селекционного подхода для получения новых сортов ячменя с повышенным содержанием антоцианов в зерне. В кн.: *Генофонд и селекция растений: доклады и сообщения V Международной конференции (Новосибирск, 11–13 ноября 2020 г.)*. Новосибирск; 2020. С.165-168]. DOI: 10.18699/GPB2020-43
- LaFountain A.M., Yuan Y.W. Repressors of anthocyanin biosynthesis. *New Phytologist*. 2021;231(3):933–949. DOI: 10.1111/nph.17397
- Landi M., Tattini M., Gould K.S. Multiple functional roles of anthocyanins in plant–environment interactions. *Environmental and Experimental Botany*. 2015;119:4-17. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.012
- Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*. 2021;10(1):86. DOI: 10.3390/plants10010086
- Ludwig S.R., Habera L.F., Dellaporta S.L., Wessler S.R. *Lc*, a member of the maize *R* gene family responsible for tissue-specific anthocyanin production, encodes a protein similar to transcription activators and contains the myc-homology region. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1989;86(18):7092-7096. DOI: 10.1073/pnas.86.18.7092
- Lukina K.A., Shoeva O.Y., Kovaleva O.N., Loskutov I.G. Anthocyanin content in grains of barley and oat accessions from the VIR collection. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(3):5-14. [in Russian] [Лукина К.А., Шоева О.Ю., Ковалева О.Н., Лоскутов И.Г. Содержание антоцианов в образцах зерновок ячменя и овса из коллекции ВИР. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(3):5-14]. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-3-04
- Martínez-Subirà M., Romero M.-P., Macià A., Puig E., Romagosa I., Moralejo M. Bioactive compounds and antioxidant capacity in pearling fractions of hulled, partially hull-less and hull-less food barley genotypes. *Foods*. 2021;10(3):565. DOI: 10.3390/foods10030565
- Plaschke J., Ganai M.W., Röder M.S. Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics*. 1995;91(6-7):1001-1007. DOI: 10.1007/BF00223912
- Shoeva O.Y., Gordeeva E.I., Khlestkina E.K. The regulation of anthocyanin synthesis in the wheat pericarp. *Molecules*. 2014;19(12):20266-20279. DOI: 10.3390/molecules191220266
- Shoeva O.Y., Kukoeva T.V., Börner A., Khlestkina E.K. Barley *Ant1* is a homolog of maize *C1* and its product is part of the regulatory machinery governing anthocyanin synthesis in the leaf sheath. *Plant Breeding*. 2015;134(4):400-405. DOI: 10.1111/pbr.12277
- Shoeva O.Y., Mock H.P., Kukoeva T.V., Boerner A., Khlestkina E.K. Regulation of the flavonoid biosynthesis pathway genes in purple and black grains of *Hordeum vulgare*. *PLoS One*. 2016;11(10):e0163782. DOI: 10.1371/journal.pone.0163782
- Shoeva O.Yu., Strygina K.V., Khlestkina E.K. Genes determining the synthesis of flavonoid and melanin pigments in barley. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):333-342. [in Russian] [Шоева О.Ю., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Гены, контролирующие синтез флавоноидных и меланиновых пигментов ячменя. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(3):333-342]. DOI: 10.18699/VJ18.369
- Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S., Kovaleva O.N., Konarev A.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*. 2021;26(8):2260. DOI: 10.3390/molecules26082260
- Vavilov N.I. Centers of origin of cultivated plants (Tsentry proiskhozhdeniya kulturnykh rasteniy). In: *N.I. Vavilov. Selected works: In 2 volumes. Vol. 1 (N.I. Vavilov. Izbrannye proizvedeniya: V 2 t. T. 1)*. Leningrad: Nauka; 1967. p.88-202. [in Russian] [Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений. В кн.: *Н.И. Вавилов. Избранные произведения: В 2 т. Т. 1*. Ленинград: Наука; 1967. С.88-202].
- Wang C., Shu Q. Fine mapping and candidate gene analysis of purple pericarp gene *Pb* in rice (*Oryza sativa* L.). *Chinese Science Bulletin*. 2007;52:3097-3104. DOI: 10.1007/s11434-007-0472-x
- Yao X., Wu K., Yao Y., Bai Y., Ye J., Chi D. Construction of a high-density genetic map: genotyping by sequencing (GBS) to map purple seed coat color (*Psc*) in hullless barley. *Heredity*. 2018;155(1):37. DOI: 10.1186/s41065-018-0072-6
- Zakhrabekova S., Dockter C., Ahmann K., Braumann I., Gough S.P., Wendt T. et al. Genetic linkage facilitates cloning of *Ert-m* regulating plant architecture in barley and identified a strong candidate of *Ant1* involved in anthocyanin biosynthesis. *Plant Molecular Biology*. 2015;88(6):609-626. DOI: 10.1007/s11103-015-0350-x
- Zhang X.W., Jiang Q.T., Wei Y.M., Liu C. Inheritance analysis and mapping of quantitative trait loci (QTL) controlling individual anthocyanin compounds in purple barley (*Hordeum vulgare* L.) grains. *PLoS One*. 2017;12(8):e0183704. DOI: 10.1371/journal.pone.0183704
- Zhou C., Zeng Z., Suo J., Li X., Bian H., Wang J. et al. Manipulating a single transcription factor, *Ant1*, promotes anthocyanin accumulation in barley grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021;69(18):5306-5317. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c08147
- Zhu F. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*. 2018;109:232-249. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.04.015

Информация об авторах

Олеся Юрьевна Шоева, кандидат биологических наук, старший научных сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЦиГ СО РАН), Курчатовский геномный центр – филиал ИЦиГ СО РАН, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, olesya_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

Татьяна Владимировна Кукоева, старший лаборант, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЦиГ СО РАН), Курчатовский геномный центр – филиал ИЦиГ СО РАН, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, kukoeva@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1425-7849>

Information about the authors

Olesya Yu. Shoeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kurchatov Genomic Center, 10, Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090 Russia, olesya_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

Tatjana V. Kukoeva, Senior Laboratory Assistant, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kurchatov Genomic Center, 10, Akademika Lavrentyeva Ave., Novosibirsk 630090 Russia, kukoeva@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1425-7849>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022; одобрена после рецензирования 04.05.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 21.01.2022; approved after reviewing on 04.05.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 631.527:634.24

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-163-171

**Наследование декоративных признаков черемухи в семьях с участием сорта 'Нежность'**

А. В. Локтева, В. С. Симагин

*Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия***Автор, ответственный за переписку:** Анна Владимировна Локтева, lokteva30@mail.ru

Важным направлением развития садоводства в Сибири является использование дикорастущих растений местной флоры, к таким растениям относится черемуха кистевая. Благодаря своей экологической пластичности – зимостойкости, размножению семенами и зелеными черенками, ежегодному обильному цветению и плодоношению – черемуха приобретает все большее распространение и популярность на территории России и стран ближнего зарубежья. В ходе наших исследований проанализирован ряд декоративных признаков у сорта черемухи 'Нежность' и характер их наследования. Для черемухи кистевой при скрещиваниях лучших образцов возможно получение высокодекоративных и легко размножающихся сортов. Показан диапазон разнообразия признаков, позволяющий получать новые оригинальные сочетания. Предложены перспективные направления селекции черемухи на декоративные качества и приведены краткие описания некоторых созданных сортов и гибридов.

Ключевые слова: селекция, признаки, гибриды, окраска лепестков, диаметр цветка

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН по проекту АААА-А21-121011290027-6 «Теоретические и прикладные аспекты изучения генофондов природных популяций растений и сохранения растительного разнообразия вне типичной среды обитания (*ex situ*)». При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Локтева А.В., Симагин В.С. Наследование декоративных признаков черемухи в семьях с участием сорта 'Нежность'. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):163-171. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-163-171

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-163-171

Inheritance of ornamental traits in bird cherry families with the cultivar 'Nezhnost' in their pedigree

Anna V. Lokteva, Vladimir S. Simagin

*Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia***Corresponding author:** Anna V. Lokteva, lokteva30@mail.ru

Background. Bird cherry plants are highly ornamental; they are diverse in shape, size and color of leaves and flowers, flowering and fruiting schedules. At present, they are widely used for landscaping parks and public gardens. In Russia there is a need to release new highly ornamental and winter-hardy cultivars using the genetic potential of both known and newly developed genotypes.

Materials and methods. In our experiment we used a pink-flowered sample found by R. A. Mastinskaya in the vicinity of Novosibirsk and transferred to Krymsk Experiment Breeding Station of VIR, where it was studied and released as a cultivar named 'Nezhnost'. One of its seedlings from free pollination became known as No. 11-5-37. Crosses included cvs. 'Colorata' (source of the spring red leaf trait), 'Purpurnaya Svecha' (summer/autumn red leaf), 'Pamyati Salamatova' (number of flowers, and brush length), accessions Nos. 1-1-8 and 11-1-8 from the Central Siberian Botanical Garden's collection (diameter of flowers and inflorescences), and selected forms "Tereshkovoy 38" and "Tereshkovoy 48/2" planted in Akademgorodok (brush length, number of flowers, and flower diameter).

Results. Unlike European genotypes, these cultivars and hybrids are adapted to the conditions of Siberia. Over a long observation period, freezing was not observed on plants even in the most severe winters. Our data indicate a manifold composition of the gene complexes controlling the manifestation of both the pink flower trait and spring red leaves.

Conclusion. A possibility of obtaining pink-flowered seedlings in a number of cross combinations and peculiarities of the inheritance of traits in them are shown. Five hybrids were identified for combining valuable traits; they are promising for ornamental and breeding uses. Some of them have already been developed into new ornamental cultivars.

Keywords: breeding, traits, hybrids, petal color, flower diameter

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task assigned to the Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, under Project AAAA-A21-121011290027-6 "Theoretical and applied aspects of studying the gene pools of natural plant populations and conservation of plant diversity outside typical habitats (*ex situ*)". To prepare this publication, materials from the scientific bioresource collection of the Central Siberian Botanical Garden "Collections of living plants in open and protected ground", USU No. USU 440534.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Lokteva A.V., Simagin V.S. Inheritance of ornamental traits in bird cherry families with the cultivar 'Nezhnost' in their pedigree. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):163-171. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-163-171

Введение

Вид *Padus avium* Mill. (= *Prunus padus* L.) – черемуха кистевая – входит в состав рода *Padus* Mill. подсемейства сливовых – Prunoideae Focke (Rosaceae Juss.). Все виды рода тетраплоидны.

Род *Padus* немногочисленен и имеет, по разным источникам, от 5 до 20–30 видов (Bean, 1981; Ingram, 1948; Belozor, 1983).

Растения черемухи обыкновенной весьма декоративны, они разнообразны по размерам, форме и окраске листьев и цветков, срокам цветения и плодоношения. В ее генеративных и вегетативных частях в физиологически значимых количествах содержится ряд биологически активных веществ (витамины, гликозиды, углеводы, органические кислоты, эфирные масла и др.), что обуславливает высокую диетическую и лечебно-профилактическую ценность черемухи. В настоящее время, с появлением декоративных сортов черемухи кистевой, ее широко используют при озеленении городских парков, скверов. Применяют в групповых и одиночных посадках, в виде подлеска в лесопарках и аллейных посадках. Для зеленого строительства важны такие декоративные признаки черемухи, как диаметр, окраска и махровость цветка, длина кисти.

Черемуха издавна широко применялась в местном озеленении в регионах с суровым климатом – на севере европейской части России, на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке. В основном это сеянцы местного вида – черемухи кистевой, реже – сеянцы североамериканской черемухи виргинской (*Padus virginiana* (L.) Mill.). Хотя высокодекоративные сорта обоих видов издавна известны в западной ботанической и дендрологической литературе (Bean, 1981; Ingram, 1948; Simagin, Eremin, 1999), они слабо распространены как за рубежом, так и в России. На современном этапе развития декоративного садоводства необходимо создание новых высокодекоративных и зимостойких сортов для регионов России с использованием генетического потенциала как уже известных, так и местных отборных генотипов (Eremin et al., 2016).

Наши исследования показали, что местный и североамериканский виды черемухи легко скрещиваются, получаемые гибриды своеобразно сочетают видовые признаки и при этом имеют высокую зимостойкость, обильно цветут и плодоносят, то есть имеется хорошая возможность привлечения в скрещивания оригинальных генотипов обоих видов (Simagin, 2000; Simagin, Lokteva, 2021).

Изучение морфологического разнообразия по декоративным признакам западносибирских образцов черемухи кистевой показало широкий диапазон изменчивости по размерам цветков и соцветий и ряду других признаков, причем лучшие образцы заметно превосходили известные ранее сорта и формы (Lokteva, 2009). Некоторые из них мы стали использовать в различных направлениях скрещиваний.

Методы исследования

В ботанической литературе нередко встречаются сведения об обнаружении растений с розовой окраской цветков, произрастающих в разных частях естественного ареала видов с белыми цветками. В нашем эксперименте использовался образец черемухи с розовыми лепестками, найденный Р. А. Мاستинской в окрестностях Новосибирска и переданный на Крымскую опытно-селекционную станцию ВИР – филиал Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (г. Крымск), где он был изучен и оформлен в качестве сорта 'Нежность' (Eremin G.V., Eremin V.G., 2019) (рис. 1), а также один из его сеянцев от свободного опыления № 11-5-37. Для скрещиваний с ними использовались сорта: 'Colorata' – источник признака «весенняя краснолистность», 'Пурпурная свеча' – «летне-осенняя краснолистность», 'Памяти Саламатова' – «число цветков» и «длина кисти», образцы из коллекции ЦСБС № 1-1-8 и № 11-1-8 – «диаметр цветка» и «диаметр соцветия», отборные формы из посадок в Академгородке – «Терешковой 38» и «Терешковой 48/2» – «длина кисти», «число цветков» и «диаметр цветка». Характеристика исходных образцов по наиболее значимым параметрам (Sedov, Ogoltsova, 1999) приведена в таблице 1.

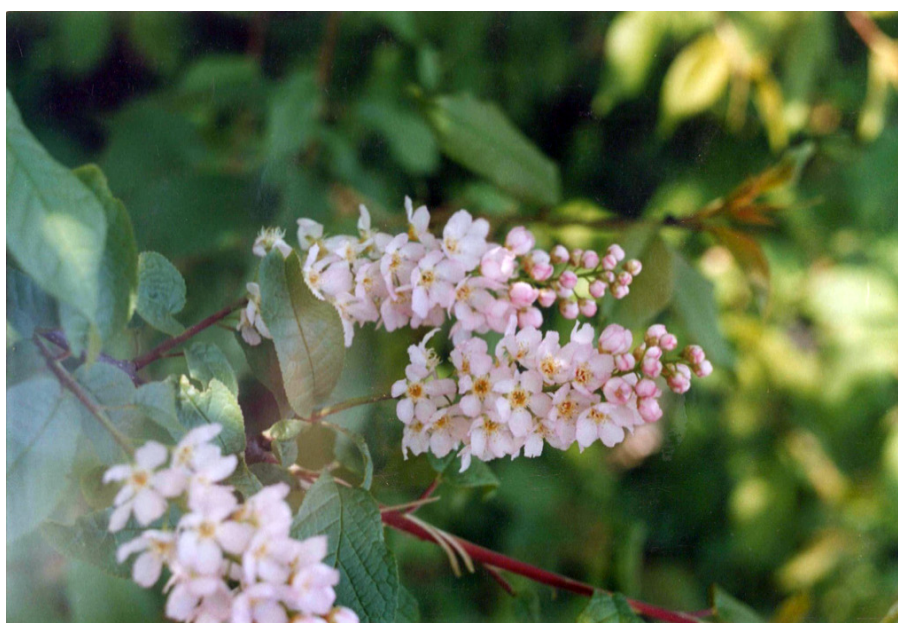


Рис. 1. *Padus avium* Mill., сорт 'Нежность' (фото В. С. Симагина)

Fig. 1. *Padus avium* Mill., cv. 'Nezhnost' (photo by V. S. Simagin)

Таблица 1. Характеристика исходных образцов черемухи в скрещиваниях
Table 1. Characteristics of the initial bird cherry forms in crosses

Название образца	Происхождение	Окраска листьев	Окраска цветков	Длина кисти, см	Диаметр кисти, мм	Число цветков, шт.	Длина цветоножки, мм	Диаметр цветка, мм
Нежность	<i>Radus avium</i>	зеленая	розовая	10,0	3,1	25	10	18
№ 11-5-37	сеянец сорта Нежность от свободного опыления	зеленая	розовая	8,5	3,2	17	9	17
Colorata	<i>Radus avium</i> из Швеции	весенняя краснолиственность.	сиренево-розовая	12	1,9	22	10	15
Пурпурная свеча	<i>Radus virginiana</i> × <i>P. avium</i> F1	летне-осенняя краснолиственность	белая	10	2,2	19	8	16
Памяти Саламатова	<i>Radus virginiana</i> × <i>P. avium</i> F1	зеленая	белая	15	2,9	33	8	14
№ 1-1-8	<i>Radus avium</i> из Хорога	зеленая	белая	10	3,5	23	13	22
№ 11-1-8	сеянец <i>Radus avium</i> № 1-1-8	зеленая	белая	8	3,0	18	14	21
Терешковой 38	<i>Radus avium</i> из Академгородка (Новосибирск)	зеленая	белая	15	3,3	38	12	20
Терешковой 48/2	<i>Radus avium</i> из Академгородка (Новосибирск)	зеленая	белая	13,5	4,4	31	12,5	21

Для описания признаков соцветий в селекционных семьях выбирались двулетние побеги длиной 20–40 см с 5–7 кистями, в средней части которых выбиралась для измерений и подсчетов типичная по длине и числу цветков кисть. Для оценки характера изменчивости по количественным признакам в семьях вычислялось среднее значение по группе и фиксировались крайние значения признака (табл. 2). У каждого сеянца проявлялось наследование качественных признаков («окраска листьев» и «окраска лепестков», «форма лепестков», «сомкнутость лепестков» и др.).

длины и диаметра кисти, числа цветков в кисти и диаметра цветка по сравнению с обоими родителями.

При скрещивании сорта 'Нежность' с сортом 'Пурпурная свеча' образовалось по два растения (1) с зелеными листьями и белыми цветками, (2) с зелеными листьями и розовыми цветками, (3) с розовыми цветками и с летней краснолистностью. Считаем весьма вероятным в этом варианте скрещивания получение и особой с белыми цветками и с летней краснолистностью. Для всей семьи характерны длинные соцветия и большое число цветков. Диапазон разнообразия весьма велик, встреча-

Таблица 2. Изменчивость признаков в селекционных семьях черемухи

Table 2. Variability of plant characters in breeding families

Название семьи	Число растений, шт.	Длина кисти, см	Диаметр кисти, мм	Число цветков, шт.	Длина цветоножки, мм	Диаметр цветка, мм	Длина лепестка, мм	Ширина лепестка, мм
Нежность × Терешковой 38	20	$\frac{13,6}{9,0-18,5}$	$\frac{30,1}{24,0-35,0}$	$\frac{29,65}{16,0-43,0}$	$\frac{9,35}{5,0-13}$	$\frac{18,1}{16,0-20,0}$	$\frac{7,3}{6,0-8,0}$	$\frac{5,4}{4,0-6,0}$
Нежность × Терешковой 48/2	15	$\frac{10,9}{6,5-14,0}$	$\frac{27,7}{25,0-35,0}$	$\frac{24,1}{15,0-33,0}$	$\frac{10,2}{6,0-13,0}$	$\frac{18,9}{18,0-22,0}$	$\frac{7,5}{7,0-9,0}$	$\frac{5,5}{5,0-7,0}$
Пурпурная свеча × Нежность	6	$\frac{13,6}{9,0-15,5}$	$\frac{26,7}{25,0-30,0}$	$\frac{29,7}{17,0-37,0}$	$\frac{8,3}{6,0-11,0}$	$\frac{17,3}{16,0-18,0}$	$\frac{7,2}{6,0-9,0}$	$\frac{5,7}{5,0-6,0}$
№ 11-5-37 × Colorata	7	$\frac{12,8}{10,5-15,0}$	$\frac{23,0}{20,0-27,0}$	$\frac{28,4}{18,0-35,0}$	$\frac{10,4}{9,0-13,0}$	$\frac{17,9}{15,0-20,0}$	$\frac{7,2}{6,0-9,0}$	$\frac{5,7}{5,0-6,0}$
№ 1-1-8 × № 11-5-37	10	$\frac{12,5}{10,0-16,0}$	$\frac{34,7}{25,0-45,0}$	$\frac{26,2}{19,0-38,0}$	$\frac{13,0}{10,0-16,0}$	$\frac{18,7}{16-23}$	$\frac{7,4}{6,0-9,0}$	$\frac{6,05}{5,0-8,0}$
№ 11-1-8 × № 11-5-37	6	$\frac{11,4}{10,0-12,5}$	$\frac{28,3}{20,0-35,0}$	$\frac{22,5}{21,0-24,0}$	$\frac{11,7}{10,0-14,0}$	$\frac{19,7}{18,0-22,0}$	$\frac{7,8}{7,0-9,0}$	$\frac{5,8}{5,0-6,0}$
Памяти Саламатова × № 11-5-37	6	$\frac{12,1}{11,5-17,0}$	$\frac{23,2}{17,0-30,0}$	$\frac{33,2}{23,0-37,0}$	$\frac{6,8}{4,0-12,0}$	$\frac{16,7}{14,0-18,0}$	$\frac{6,5}{6,0-7,0}$	$\frac{5,7}{5,0-6,0}$

Примечание: в числителе – среднее значение признака, в знаменателе – пределы изменчивости

Note: the numerator is the mean value of a character, the denominator contains the limits of variability

Результаты исследований

К сожалению, число растений в семьях из-за регулярных хищений молодых сеянцев, было небольшим. Поэтому нет уверенности в четком установлении закономерностей проявления признаков по семьям, но все же можно отметить возникновение некоторых тенденций в их характеристиках.

Так, в семье с участием сорта 'Colorata' (Нежность × Colorata) пять из семи сеянцев имели однотипную с ним весеннюю краснолистность, причем у двух из них цветки были бледнее. У одного из сеянцев листья с возрастом не полностью теряли красноватый оттенок, по сравнению с отцовским сортом. Еще два сеянца были типичными, то есть с белыми цветками и зелеными листьями, а сеянцев с розовыми цветками и зелеными листьями не было. В семье также заметно увеличились средние значения

юты особи с признаками, превосходящими обоих родителей.

При скрещивании образцов с белыми цветками и зелеными листьями в двух семьях (Памяти Саламатова × № 11-5-37 и 11-1-8 × № 11-5-37) сеянцев с розовыми цветками пока не обнаружено. Возможно, это объясняется малым числом растений в гибридном потомстве, но также вероятно более слабая передача признака розовой окраски лепестков от образца № 11-5-37 по сравнению с исходным сортом 'Нежность'.

Больше всего сеянцев с розовыми цветками было получено в семье Нежность × Терешковой 48/2 – 7 из 15. В семье № 1-1-8 × № 11-5-37 таких было 2 из 10, а в семье Нежность × Терешковой 38 их было 3 из 20. Остальные сеянцы были обычными (белые цветки, зеленые листья). Среди растений с розовыми цветками встречаются особи, заметно превосходящие исходные роди-

тельские формы по длине и диаметру кисти, по диаметру цветков.

Среди изучаемых гибридов черемухи наиболее интересной по комплексу признаков показала себя комбинация Нежность × Терешковой 48/2, образец № 1-1-8 служит выдающимся источником для передачи таких признаков, как диаметр цветка и кисти, а образец Терешковой 38 и сорт 'Памяти Саламатова' служат источниками такого признака, как число цветков в кисти. Во всех семьях встречались сеянцы с цветками, не уступающими или превосходящими по размерам лепестков крупноцветкового родителя № 1-1-8.

Нами выделено 5 гибридов для размножения в качестве декоративных растений и использования в селекции.

№ 14-6-61 из семьи № 11-5-37 × Colorata

Среднерослое дерево высотой 5–6 м с раскидистой кроной. Цветение раннее, цветки диаметром 18 мм, сирнево-розовые (рис. 2), в кистях средней длины, около 30 шт. в соцветии, лепестки более широкие, чем у сорта 'Colorata'. Листья весной малиново-красные, постепенно зеленеют, но жилки остаются темными. Плоды мелкие, черные с бордовой мякотью, посредственного вкуса.



Рис. 2. Гибрид № 14-6-61 (№ 11-5-37 × Colorata) (фото А. В. Локтевой)

Fig. 2. Hybrid No. 14-6-61 (No. 11-5-37 × Colorata) (photo by A. V. Lokteva)

Сорт 'Стройная' из семьи Пурпурная свеча × Нежность

Рослое дерево сузкопирамидальной кроной, 7–8 м в высоту. Цветение среднепозднее, обилие цветения среднее. Цветки нежно-розовые, среднего размера, диаметром 18 мм, соцветие плотное, из 35 цветков, длинное (около 15 см). Плоды мелкие, черные, округлые, массой 0,3–0,4 г, с желто-зеленой мякотью, отличного вкуса. Листья первоначально зеленые, в середине лета приобретают пурпурную окраску, средней величины, блестящие.

Сорт 'Румяные щечки' из семьи № 1-1-8 × № 11-5-37

Среднерослое дерево с густой пирамидальной кроной. Цветение раннее, обилие цветения среднее. Цветки нежно-розовые, чашевидные (рис. 3), диаметром 20 мм, с очень широкими лепестками, около 30 шт. в соцветии длиной 15 см, диаметром 35 мм. Листья зеленые, крупные, морщинистые. Плоды мелкие, черные с зеленой мякотью, массой 0,3–0,4 г, плохого вкуса (Lokteva, 2013).

№ 14-14-32 из семьи Нежность × Терешковой 48/2

Среднерослое дерево высотой 4–5 м с раскидистой кроной средней густоты. Цветение среднераннее, обильное. Цветки розовые, диаметром 20 мм, в коротких, около 10 см, и малоцветковых кистях по 20–25 шт. Плоды мелкие, черные с зеленой мякотью, посредственного вкуса.

№ 14-14-34 из семьи Нежность × Терешковой 48/2

Среднерослое дерево с пирамидальной кроной. Цветение среднераннее, обильное. Цветки светло-розовые, крупные, диаметром 22 мм, по 25–30 шт., кисть длиной 14 см, диаметр – 3,5 см. Листья крупные, темно-зеленые. Плоды мелкие, черные с зеленой мякотью, посредственного вкуса (рис. 4).

Полученные нами гибридные образцы позволят расширить сортимент декоративных черемух в России. В сравнении с распространенными сортами они характеризуются сочетанием выдающихся декоративных признаков – различными сроками цветения и разнообразной окраской листьев. Расширение сортимента декоративных черемух с различными сроками цветения является важным направлением в селекции, поскольку все сорта являются перекрестноопыляемыми растениями. Для получения обильного и продолжительного цветения



Рис. 3. Сорт 'Румяные щечки' (№ 1-1-8 × № 11-5-37) (фото А. В. Локтевой)

Fig. 3. Cv. 'Rumyanye Shchечki' (No. 1-1-8 × No. 11-5-37) (photo by A. V. Lokteva)



Рис. 4. Гибрид № 14-14-34 (Нежность × Терешковой 48/2) (фото А. В. Локтевой)

Fig. 4. Hybrid No. 14-14-34 (Nezhnost × Tereshkovoy 48/2) (photo by A. V. Lokteva)

и плодоношения необходимы совместные посадки растений из разных гибридных семей.

В отличие от европейских сортов, выведенные нами сорта и гибриды приспособлены к условиям Сибири. За длительный период изучения промерзание не наблюдалось даже в самые суровые зимы. Образец № 14-3-65, помимо комплекса декоративных качеств, имеет отличный вкус плодов и может быть использован как сорт универсального назначения в групповых совместных посадках.

Наши данные указывают на сложный состав генных комплексов, контролирующих проявление как признака розовой окраски цветков, так и признака весенней краснолиственности у сорта 'Colorata'. При скрещиваниях может происходить взаимная частичная замена генетического материала составляющих их олигогенов и возникновение новых сочетаний и проявлений признаков. Это приводит к образованию новых оригинальных сочетаний.

Заключение

Таким образом, показаны возможности получения сеянцев с розовой окраской лепестков в ряде комбинаций скрещивания и особенности наследования признаков в них. Особый интерес представляет перспектива объединения розовой окраски цветков с рядом других ценных декоративных признаков и получение новых комбинаций декоративных качеств. Выделено пять гибридов, хорошо сочетающих ценные признаки, перспективные для декоративного и селекционного использования. Гибрид № 14-6-61 выделен за слаборослость и очень обильное цветение, гибрид № 14-14-32 – за обильное цветение и короткие соцветия розового цвета, а гибрид № 14-14-34 имеет большой диаметр цветка (22 мм). Два других гибрида уже оформлены как новые декоративные сорта: 'Румяные щечки' выделен за частичную окраску ле-

пестка, 'Стройная' – за пирамидальную форму кроны, летнюю окраску листьев и розовые цветки. Все выделенные гибриды имеют розовую окраску лепестков с разной степенью выраженности.

References / Литература

- Bean W.J. Trees and shrubs hardy in the British Isles. Vol. 3. 8 ed. London: John Murray; 1981.
- Belozor N.I. Northern and Far East bird cherry species and prospects of their use (Severny i dalnevostochnye vidy cheremukhi i perspektivy ikh ispolzovaniya). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1983;77:98-103. [in Russian] (Белозор Н.И. Северный и дальневосточные виды черёмух и перспективы их использования. *Труды по прикладной ботанике генетике и селекции*. 1983;77:98-103).
- Eremin G.V. The use of genomic analysis to increase the efficiency of hybridization of *Prunus* L. species in the breeding of stone fruits. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2017;49:105-110. [in Russian] (Еремин Г.В. Использование геномного анализа для повышения эффективности гибридизации видов *Prunus* L. в селекции косточковых культур. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2017;49:105-110).
- Eremin G.V., Dubravina I.V., Kovalenko N.N., Gasanova T.A. Prebreeding of fruit crops: a monograph (Predvaritelnaya selektsiya plodovykh kultur: monografiya). G.V. Eremin (ed.). 2nd ed. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2016. [in Russian] (Еремин Г.В., Дубравина И.В., Коваленко Н.Н., Гасанова Т.А. Предварительная селекция плодовых культур: монография / под ред. Г.В. Еремина. 2-е изд. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет; 2016).
- Eremin G.V. Eremin V.G. Remote hybridization in the evolution and breeding of stone fruit plants of *Prunus* L. genus. = *Scientific Works of North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making*. 2019;25:44-58. [in Russian] (Еремин Г.В., Еремин В.Г. Отдаленная гибридизация в эволюции и селекции косточковых растений рода *Prunus* L. *Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*. 2019;25:44-58). DOI: 10.30679/2587-9847-2019-25-44-58
- Ingram C. Ornamental cherries. London: Country Life, 1948.
- Lokteva A.V. Bird cherry (Cheremukha). In: *Introduction of Nontraditional Fruit, Berry and Vegetable Plants in Western Siberia (Introduktsiya netraditsionnykh plodovykh, yagodnykh i ovoshchnykh rasteniy v Zapadnoy Sibiri)*. Novosibirsk; 2013. p.37-60. [in Russian] (Локтева А.В. Черемуха. В кн.: *Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири*. Новосибирск; 2013. С.37-60).
- Lokteva A.V. Polymorphism of bird cherry in the West Siberian south as a source of forms for introduction and analytic breeding (Polimorfizm cheremukhi kistevoiy na yuge Zapadnoy Sibiri kak istochnik form dlya introduktsii i analiticheskoy selektsii) [dissertation]. Novosibirsk; 2009. [in Russian] (Локтева А.В. Полиморфизм черемухи кистевой на юге Западной Сибири как источник форм для интродукции и аналитической селекции: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск; 2009).
- Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPК; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).
- Simagin V.S. Cherry and bird cherry in Western Siberia (Vishnya i cheremukha v Zapadnoy Sibiri). Novosibirsk: Siberian Branch of the RAS; 2000. [in Russian] (Симагин В.С. Вишня и черемуха в Западной Сибири. Новосибирск: Сибирское отделение РАН; 2000).
- Simagin V.S., Eremin G.V. About the diversity of *Prunus padus* L. in Eurasia (O raznoobrazii cheremukhi kistevoiy v Evrazii). *Flora i rastitelnost Altaya = Flora and Vegetation of Altai*. 1999;4(1):76-85. [in Russian] (Симагин В.С., Еремин Г.В. О разнообразии черемухи кистевой в Евразии. *Флора и растительность Алтая*. 1999;4(1):76-85).
- Simagin V.S., Lokteva A.V. Development of large-fruited bird cherry cultivars on the basis of wild species for northern and eastern regions of Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):123-130. [in Russian] (Симагин В.С., Локтева А.В. Создание крупноплодных сортов черемухи на основе дикорастущих видов для северных и восточных регионов России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):123-130). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-123-130

Информация об авторах

Анна Владимировна Локтева, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, lokteva30@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5707-5853>

Владимир Сергеевич Симагин, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, Simagin48@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0040-2398>

Information about the authors

Anna V. Lokteva, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia, lokteva30@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5707-5853>

Vladimir S. Simagin, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia, Simagin48@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0040-2398>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.11.2021, одобрена после рецензирования 07.09.2022, принята к публикации 01.12.2022.

The article was submitted 11.11.2021, approved after reviewing 07.09.2022, accepted for publication 01.12.2022.

IDENTIFICATION OF THE DIVERSITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES FOR SOLVING FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS

Original article

UDC 633.18:631.527:581.143.6:575.234

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-172-180



Variability of morphological features and nuclear DNA content in haploids and doubled haploids of androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.)

Marina V. Ilyushko¹, Mikhail V. Skaptsov², Marina V. Romashova¹¹ Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk, Russia² Altai State University, South-Siberian Botanical Garden, Barnaul, Russia

Corresponding author: Marina V. Ilyushko, ilyushkoiris@mail.ru

The work is relevant for understanding evolutionary processes in plant species. Twelve callus lines with multiple regeneration of haploids and doubled haploids were obtained in F_1 hybrids of *Oryza sativa* L. through *in vitro* androgenesis. Intracallus variability of the morphological features of haploids was often accompanied by a decrease in the values of morphological features with an increase in the serial number ($p < 0.05$). The number of panicles on a plant and the number of flowers on a panicle on two callus lines in the second or third group were increased. No variability was detected in five callus lines, i.e., such a phenomenon was not a rule. The nuclear DNA content of doubled haploids in four groups of the same callus line was 1.03–1.09 pg, and for haploids it was 0.53–0.58 pg. Intracallus variability of nuclear DNA content was detected between groups of haploids of the same line and among doubled haploids of the same line. Significant differences were found between the haploids of one callus line and the three other callus lines of the Sadko × Kuboyar hybrid towards an increase of nuclear DNA content ($p < 0.0015$). The theoretical possibility of the appearance of intraspecific variability among plants with a small number of chromosomes is considered. A scheme of genomic reorganization is proposed for such species: initial plant ($2n$) → aneuploid plants ($n + 1$) → megasporogenesis and microsporogenesis of the 0- n type, formation of fertile pollen ($n + 1$) → diploid plant ($2n + 2$).

Aneuploid evolution explains the intraspecific variability of chromosome numbers among plant species with low ploidy. Aneuploid technologies can help in the artificial formation of new polyploid crops, and rice is given a primary role.

Keywords: *in vitro* androgenesis, flow cytometry, intracallus variability, aneuploid plant evolution

Acknowledgements: the work was carried out within the theme “To develop new genotypes of agricultural crops with high productivity, resistant to abiotic and biotic environmental factors” (FNGW-2022-0008), registration number NIOKTR 122022600066-1.

The authors express their gratitude to P. I. Kostylev (Donskoy Agricultural Research Center, Russia) for the provided seeds of the Sadko × Kuboyar hybrid and S. S. Guchenko (Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, Russia) for the Dubrava × Atlant hybrid, S. O. Baturin (Institute of Cytology and Genetics, Russia) for the consultation on terminology in the plant reproduction field.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Ilyushko M.V., Skaptsov M.V., Romashova M.V. Variability of morphological features and nuclear DNA content in haploids and doubled haploids of androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):172-180. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-172-180

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ

Научная статья

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-172-180

Изменчивость морфологических признаков и содержания ядерной ДНК гаплоидов и удвоенных гаплоидов в андрогенных каллусных линиях риса (*Oryza sativa* L.)

М. В. Илюшко¹, М. В. Скапцов², М. В. Ромашова¹

¹ Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск, Россия

² Алтайский государственный университет, Южно-Сибирский ботанический сад, Барнаул, Россия.

Автор, ответственный за переписку: Марина Владиславовна Илюшко, ilyushkoiris@mail.ru

Работа актуальна для понимания эволюционных процессов у видов растений. Исследование проведено на гибридах F_1 риса (*Oryza sativa* L.). Получено 12 каллусных линий с множественной регенерацией (более 60 растений на линии) гаплоидов и удвоенных гаплоидов. Регенерантные растения одной каллусной линии, полученной из одного пыльника риса, разделяли на две-четыре группы в зависимости от объема выборки в порядке их дифференциации на каллусе и высадки на среду укоренения. В первую группу входили растения с порядковым номером 1–30, во вторую – 31–60, в третью – 61–90, в четвертую – 91–120. Измеряли биометрические показатели и содержание ядерной ДНК. Между группами гаплоидов и удвоенных гаплоидов внутри каллусной линии выявлены различия по одному, двум или трем морфологическим признакам ($p < 0,05$). Внутрикаллусная изменчивость признаков гаплоидов чаще сопровождалась уменьшением значений морфологических признаков с увеличением порядкового номера. На пяти каллусных линиях не обнаружено изменчивости, то есть такое явление не является правилом. Среднее содержание ядерной ДНК удвоенных гаплоидов в четырех группах одной каллусной линии составило 1,03–1,09 пг, у гаплоидов – 0,53–0,58 пг. Внутрикаллусная изменчивость содержания ядерной ДНК выявлена между группами у гаплоидов на одной линии и среди удвоенных гаплоидов одной линии. Обнаружены достоверные отличия гаплоидов одной каллусной линии от трех других каллусных линий гибрида Садко × Кубояр по содержанию ядерной ДНК в сторону увеличения ($p < 0,0015$). Рассматривается теоретическая возможность появления внутривидовой изменчивости среди растений с небольшим числом хромосом. Предлагается схема геномных преобразований у таких видов: исходное растение ($2n$) → анеугаплоидные растения ($n + 1$) → мегаспорогенез и микроспорогенез по типу 0- n , формирование фертильной пыльцы ($n + 1$) → диплоидное растение ($2n + 2$). Анеугаплоидная эволюция объясняет внутривидовую изменчивость чисел хромосом среди видов растений с низкой пloidностью.

Ключевые слова: андрогенез *in vitro*, проточная цитометрия, внутрикаллусная изменчивость гаплоидов и удвоенных гаплоидов, анеугаплоидная эволюция растений

Благодарности: работа выполнена в рамках темы «Создать новые генотипы сельскохозяйственных культур с высокой продуктивностью, устойчивые к абиотическим и биотическим факторам среды» (FNGW-2022-0008), регистрационный номер НИОКТР 122022600066-1

Авторы выражают признательность П. И. Костылеву (Аграрный научный центр «Донской», Россия) за предоставленные семена гибрида Садко × Кубояр и С. С. Гученко (ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Россия) за семена гибрида Дубрава × Атлант, С. О. Батурину (Институт цитологии и генетики, Россия) за консультацию по терминологии в области репродукции растений.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Илюшко М.В., Скапцов М.В., Ромашова М.В. Изменчивость морфологических признаков и содержания ядерной ДНК гаплоидов и удвоенных гаплоидов в андрогенных каллусных линиях риса (*Oryza sativa* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):172-180. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-172-180

Introduction

The polyploidy phenomenon is widespread in many angiosperm families (Grant, 1981; Stebbins, 1999; Levin, 2019). Some plant families are up to seventy percent polyploid (Grant, 1981; Stebbins, 1985). The fact that polyploidy plays an important role in the emergence of families does not mean that it contributed to progressive evolution – it is a complicating force that produces countless variations on old themes without new major deviations (Stebbins, 1966; 1999). The increased genome numbers create a rigid genetic system that has tactical advantages in the already mastered severe conditions, but it is absent from the strategic plan, when evolutionary plasticity is required (Khokhlov et al., 1976). Polyploid species have higher extinction rates than their diploid cousins (Levin, 2019). It has also been shown on yeast that haploid populations are more adaptable to changing environmental conditions than diploid ones (Zeyl et al., 2003). Progressive evolution usually proceeds at the lowest possible ploidy level, hence the constant change of ploidy levels within the boundaries of the biologically optimal ploidy range (Khokhlov et al., 1976). V. Grant (1981) considers evolution from diploid to tetraploid and higher polyploid to be largely irreversible. Nevertheless, there are few examples of reverse plant evolution (depolyloidization) from tetraploids to polyhaploids (Raven, Thompson, 1964; de Wet, 1971; Khokhlov et al., 1976), called dihaploids in the modern scientific literature (Jauhar et al., 2009).

Plant species plurality with non-multiple intraspecific changes in chromosome numbers are known, and the majority of them are highly ploid (Agapova et al., 1990, 1993). Depolyloidization of such species proceeds through the successive loss of individual chromosomes and the aneuploid plant formation (Khokhlov et al., 1976). However, this pathway does not explain the occurrence of variability in species with a small basic number of chromosomes, such as *Crepis pannonica* (Jacq.) C. Koch ($2n = 8, 9, 10, 11$), *Erysimum amurense* Kitag. ($2n = 12, 14$), *Antyllis lachnophora* Juz. ($2n = 10, 12$), *Primula nutans* Georgi ($2n = 20, 22$), *Aquilegia parviflora* Ledeb. ($2n = 14, 16$), and others (Agapova et al., 1990, 1993; Takhtajan, 2009). Elimination of a chromosome or a pair of chromosomes at the diploid level would lead to the loss of a genome part with irreversible consequences. It should be noted that such species are relatively scarce in comparison with depolyloidized highly ploid species (Agapova et al., 1990, 1993).

It is believed that spontaneous haploidy is a rare phenomenon; however, it is constantly encountered in many plant species. Usually the frequency of haploidy does not exceed 0.1%, but it can reach 15% (Kunakh, 1995). Haploid flowering plants are rare in nature, since they are less viable and die soon after germination (Kirillova, 1966). Under experimental conditions many exceptions have been described, when mono- and polyhaploids are not inferior to the original diploids in a number of characteristics. In some cases, haploid plants were more powerfully developed than the original diploid forms (Khokhlov et al., 1976). There is an opinion that haploid androgenesis as a particular form of haploidy can lead to the intensification of the morphogenesis process (Khokhlov et al., 1976).

In vitro culture is a stressor for plants (Kunakh, 1998). Various deviations from the chromosome diploid set by cytology and flow cytometry have been found in callus cells (Kunakh, 1998; Barow, Jovtchev, 2007; Ochatt, 2008). Not all genetic disorders that accumulate in *in vitro* culture at the cellular level can pass through the morphogenesis stage, and it is

not always possible to obtain regenerants and their offspring (Kuznetsova et al., 2006; Barow, Jovtchev, 2007; Ochatt, 2008). This fully applies to haploid technologies. There is evidence of cytological changes in regenerants obtained in *in vitro* androgenesis, with corresponding phenotypic manifestations, often leading to the death of plants or their sterility (Kasha et al., 2001; Zagorska et al., 2004; Cistué et al., 2006). Aneuhaploids have been recorded in a number of cultivated species (Khokhlov et al., 1976; Tyrnov, 2005). There are cases when in a haploid, derived from polyploidy-origin species, a number of chromosomes is less than in typical cases. The existence of monoploids without one or several chromosomes is apparently practically impossible (Khokhlov et al., 1976; Kunakh, 1995; Wu et al., 2018). V. S. Tyrnov (2005) highlights the specific role of haploidy and the karyotype reorganization possibility based on aneuhaploids.

The evolutionary changes of the most significant deviation, the most divergent aberrant populations occur under environmental stress conditions (Takhtajan, 1983). The saltation chromosome reorganization can even lead to speciation (Lewis, 1966). *In vitro* cultivation is human creation of environmental stress for plants. The aim of the study was to simulate the conditions under which changes in the DNA content in a haploid rice (*Oryza sativa* L.) population are possible during *in vitro* androgenesis and to describe the haploid evolution scheme with cytotypic variability.

Materials and methods

The studies were carried out on the rice (*Oryza sativa* L.) F_1 hybrids: Sadko × Kuboyar, Magnat × Dolinny, and Dubrava × Atlant. The original plants were grown in a climatic chamber in spring at the 21°C temperature, 5000 lux illumination, 70% humidity, and photoperiod of 16/8 h. The technique of anther cold pretreatment, and anthers, calli, and regenerants in *in vitro* culture were discussed by M. Ilyushko et al. (2018).

Green R_0 regenerants with a well-developed root system were transplanted to pots and grown under controlled conditions in a cultivation room up to seed formation in the doubled haploids. Haploid plants were characterized by small flowers and sterility. Regenerant plants of the same callus line derived from one rice anther were divided into 2–4 groups (depending on the sampling volume) in the order of their differentiation on the callus and transplanting onto a rooting medium. The registered morphological features included plant height (cm), length of the main panicle (cm), number of flowers per main panicle (pieces), number of panicles per plant (pieces), and the number of seeds per main panicle (pieces) for doubled haploids.

The content of nuclear DNA was determined using flow cytometry. For haploids and doubled haploids R_0 freeze-dried straw leaves stored for 6–9 months at –80°C were used. The seeds of the doubled haploids R_1 germinated; in the three-four leaves phase the leaf was lyophilized and used for analysis without storage. The sample preparation procedure was described by M. Ilyushko et al. (2018). Isolated nuclei of *Ficus benjamina* L. with a known DNA content $2C = 1.07$ pg were used as the reference (Skaptsov et al., 2016). Peaks with no less than 1000 detectable particles were used. The fluorescence data of isolated nuclei were recorded on a Partec Cy-Flow PA flow cytometer with a laser radiation source ($\lambda = 532$ nm) in duplicate. The data obtained were processed using the Statistica v.10.0 software.

The following statistical treatments were carried out: the analysis of variance (ANOVA) was used to characterize mor-

phological traits, while differences in traits in the groups were identified using Tukey's test. To determine the significance of differences in the mean values of DNA content between groups within the callus line, the Wilcoxon z-test was used, which was applicable for small samples.

Results

1286 rice anthers were introduced into *in vitro* culture; callus formation was 9.8%. Callus lines with multiple regenerations were selected for the study. A total of 483 plants were analyzed for biometric features and 224 for the nuclear DNA content.

Intracallus differences were revealed between the groups of haploids and doubled haploids in one, two, or three morphological features ($p < 0.05$) (Table 1).

The average nuclear DNA content for doubled haploids was 1.03–1.09 pg (Table 2). In three haploid plants of callus lines 36.2.1 and 214.1.1 of the Sadko × Kuboyar hybrid, the nuclear DNA content was typical for a diploid plant (1.05–1.16 pg), although the plant height (26–42 cm) and flower size were characteristic of haploids, and the number of flowers per panicle was small (7–16 pcs.). These plants were excluded from the further analysis.

Intracallus variability in the nuclear DNA content was found between groups for haploids in line 124.2.2 and doubled haploids in line 39.1.2 R₀ (see Table 1). These lines have a very low standard deviation (Fig. 1, 2), which made it possible to experience significant differences in values between plant groups at $p < 0.05$.

A weak correlation among doubled haploids was found between plant height and DNA content ($r = 0.54$ at $p < 0.05$).

Table 1. Intracallus morphological variability of haploids and doubled haploids in androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.)

Таблица 1. Внутрикалусная морфологическая изменчивость гаплоидов и удвоенных гаплоидов в андрогенных калусных линиях риса (*Oryza sativa* L.)

Hybrid	Callus line number	Sampling volume (pcs)	Mean values (M) of morphological indices:					ANOVA
			plant height (cm)	main panicle length (cm)	main panicle number of flowers (pcs)	panicle per plant (pcs)	seeds per main panicle (pcs)	
Haploids								
Sadko × Kuboyar	36.2.1	22	42.1 ^a	7.5	69.7	2.2	–	F = 2.82, <i>p</i> = 0.04
		30	37.6 ^b	7.6	67.9	1.8	–	
	101.2.2	15	44.0	7.5	63.7	2.5	–	F = 1.88, <i>p</i> = 0.07
		30	41.2	7.8	58.8	2.1	–	
		20	39.1	8.2	68.9	2.2	–	
	124.2.2	26	45.7 ^a	7.8	62.5 ^a	2.2	–	F = 6.92, <i>p</i> = 0.000001
		24	43.6 ^{ab}	7.8	77.5 ^b	1.9	–	
		18	37.6 ^c	8.2	66.6 ^{ab}	2.6	–	
	214.1.1	25	45.6	7.1 ^a	59.6	2.5 ^a	–	F = 5.16, <i>p</i> = 0.0002
		23	43.0	7.7 ^b	64.8	1.8 ^b	–	
Magnat × Dolinny	150.1.1	27	49.6 ^a	10.0	94.7	1.0	–	F = 4.12, <i>p</i> = 0.006
		26	42.2 ^b	9.4	84.5	1.0	–	
Dubrava × Atlant	459.1.2	29	40.9	9.0	112.8 ^a	1.3	–	F = 3.04, <i>p</i> = 0.003
		28	43.8	9.6	157.0 ^b	1.4	–	
		28	44.0	9.5	161.4 ^{bc}	1.6	–	
Doubled haploids								
Magnat × Dolinny	39.1.2	29	77.1 ^a	10.5	41.6	1.2	7.7 ^a	F = 2.10, <i>p</i> = 0.01
		28	69.5 ^b	10.7	38.1	1.2	10.5 ^{ab}	
		28	71.8 ^{ab}	10.3	34.4	1.2	11.9 ^{ab}	
		24	71.7 ^{ab}	10.5	38.2	1.1	14.4 ^b	

Note: ^{abc} – Tukey's test at $p < 0.05$

Примечание: ^{abc} – критерий Тьюки при $p < 0,05$

Table 2. Intracallus variability of nuclear DNA content in haploids and doubled haploids in androgenic callus lines of rice (*Oryza sativa* L.)**Таблица 2. Внутрикалусная изменчивость содержания ядерной ДНК гаплоидов и удвоенных гаплоидов в андрогенных калусных линиях риса (*Oryza sativa* L.)**

Hybrid	Callus line number	Sampling volume (pcs)	Mean values (M) of nuclear DNA content:	
			R ₀ , pg	R ₁ , pg
Haploids				
Sadko × Kuboyar	36.2.1	10	0.55	–
		9	0.54	–
	101.2.2	9	0.55	–
		10	0.54	–
		10	0.54	–
	124.2.2	10	0.58*	–
		9	0.57*	–
		10	0.57	–
	214.1.1	10	0.55	–
		10	0.56	–
Magnat × Dolinny	150.1.1	10	0.57	–
		10	0.56	–
Dubrava × Atlant	459.1.2	11	0.52	–
		9	0.53	–
		10	0.53	–
Doubled haploids				
Magnat × Dolinny	39.1.2	10	1.04	1.07
		10	1.03*	1.07
		9	1.04	1.08
		10	1.04*	1.09

* – Intracallus significant differences at $p < 0.05$ * – Внутрикалусные различия достоверны при $p < 0,05$

A very weak negative correlation was detected between the number of flowers per panicle and the DNA content ($r = -0.25$, $p < 0.05$).

There are significant differences ($p = 0.0001$) in the nuclear DNA content between the doubled haploids R₀ and R₁. In R₀ regenerants the average value was 1.04 pg. The average value among regenerates of the first generation R₁ was higher – 1.09 pg, standard deviation (see Fig. 2). This happened due to three plants with callus differentiation numbers 56, 74, and 92, where the nuclear DNA content was 1.19, 1.20, and 1.31 pg, respectively. When these plants were excluded from the calculations, the average DNA and the standard deviation decreased to 1.07 pg; however, significant differences between the samples of doubled haploids R₀ and R₁ remained.

Significant differences were found between callus line 124.2.2 haploids and three other callus lines of the Sadko × Kuboyar hybrid in terms of the nuclear DNA content upward ($p < 0.0015$) (see Fig. 1).

Discussion

The nuclear DNA content of 1.03–1.09 pg in doubled haploids is consistent with the data of other rice researchers at the diploid level, where the value in the main set of *O. sativa* chromosomes varies within 0.91–1.00 pg (Bennet, Smit, 1991; Bai et al., 2012).

The differences in morphological features were revealed between the groups of haploids and doubled haploids obtained from hybrid plants within the callus line ($p < 0.05$). This was not observed among doubled haploids obtained from varietal plants. Variability of intracallus morphological features in varietal haploids was always accompanied by a decrease in the values of morphological features with an increase in the serial number (Ilyushko, Romashova, 2019). In some callus lines (459.1.2 and 124.2.2) in the second or third group in hybrid haploids the number of panicles per plant and the number of flowers per panicle increased. In general,

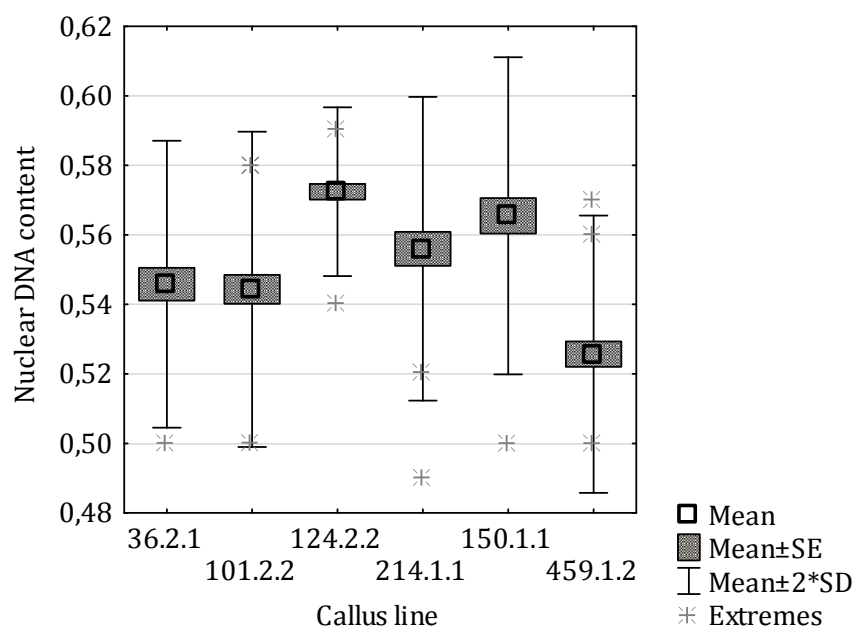


Fig. 1. Nuclear DNA content in haploids of *Oryza sativa* L. androgenic callus lines

Рис. 1. Содержание ядерной ДНК гаплоидов в андрогенных каллусных линиях риса (*Oryza sativa* L.)

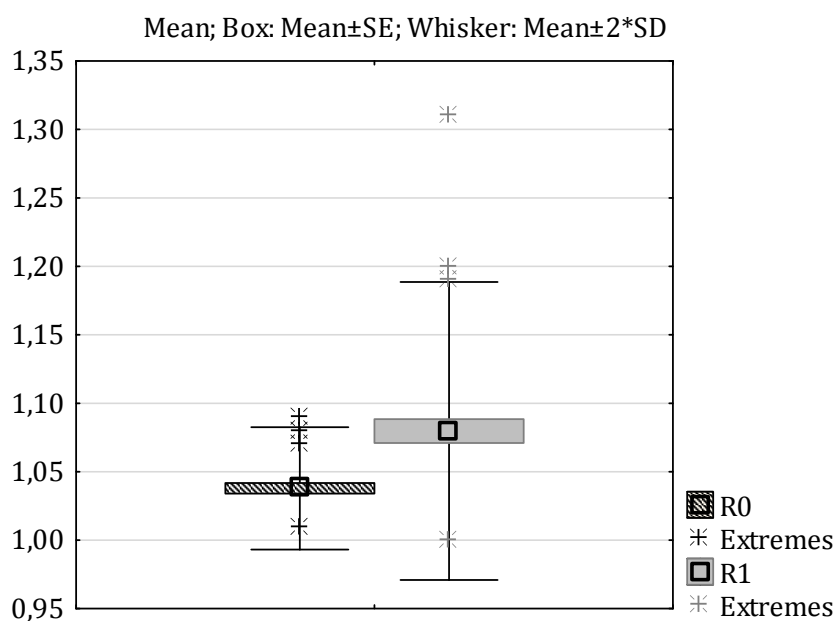


Fig. 2. Nuclear DNA content in androgenic callus line 39.1.2 of the Magnat × Dolinny hybrid (*Oryza sativa* L.): R0 – doubled haploids R_0 , R1 – doubled haploids R_1

Рис. 2. Содержание ядерной ДНК в андрогенной каллусной линии 39.1.2 гибрида риса (*Oryza sativa* L.) Магнат × Долинный: R0 – удвоенные гаплоиды R_0 , R1 – удвоенные гаплоиды R_1

variability of intracallus morphological features in callus lines with multiple regeneration may happen due to two reasons: a) the callus line formation by several immature anther microspores, each of which is a separate genotype, and b) the regenerant somaclonal variability, explained by transposition explosions, the activation of mobile genetic elements occurring both at the chromosomes number and structure level and at the gene level (Scowcroft, 1985; Kunakh, 1998). Earlier, we detected morphological and genetic variability among doubled rice haploids in five callus lines of the same hybrid (Ilyushko et al., 2020) and revealed intracallus genomic

changes among rice regenerants (Ilyushko, Romashova, 2020). These experiments included callus lines, where intracallus morphological polymorphism of haploids and doubled haploids was observed. However, five callus lines with multiple regeneration were obtained, where no variability was found, i.e., the phenomenon is not a rule. The callus lines are likely initiated by one microspore (Ilyushko et al., 2020; Ilyushko, Romashova, 2020).

There are significant differences in the nuclear DNA content between the doubled haploids R_0 and R_1 . To determine the DNA content in R_0 regenerants, straw leaves were used,

and young plants in the four-leaf phase were used in the R_1 regenerates; the average value was higher – 1.09 pg. The cytotypic variability of three R_1 plants with large differentiation numbers on the callus (56, 74, 92) was probably facilitated by a longer stay of plants on a nutrient medium with hormones, which in some cases leads to morphological and genetic variability (Ilyushko et al., 2020). R_1 regenerants underwent seed reproduction; however, an increased DNA content is detected in the leaves of three plants relative to the entire group of plants.

In rice *in vitro* culture, amplification of highly repetitive DNA sequences from several to several thousand times is possible (Zheng et al., 1987; Kikuchi et al., 1987), accompanied by aneuploid chromosome changes in some varieties (Zheng et al., 1987; Wu et al., 2018). At the same time, Y. Wu et al. (2018) documented that the gain of chromosomes is more prevalent over their loss. Similar changes were fixed in the regenerated corn and flax (Kunakh, 1998). This is a probable way of increasing the DNA content in the haploids of callus line 124.2.2 and individual doubled haploids R_1 . It does not mean a mandatory change in the number of chromosomes; it requires cytological confirmation. Nevertheless, calli of haploid origin, especially from anthers, contain a small number of aneuploid cells (Kunakh, 1998), and the cases of aneuploid plant appearance are known (Khokhlov et al., 1976, Tyrnov, 2005).

Thus, a theoretical basis appeared to suggest the existence of flowering plant species' aneuploid evolution. It is shown graphically in Figure 3. In rare aneuploid plants that are formed under stress conditions, 0-n-type microsporogenesis is possible; its frequency in diploid flowering plants is very low, but in some cases $2n$ gametes with a somatic number of chromosomes occur with a high frequency – 14–36% (Tsatsenko, Mosunov, 2008), and in haploid plants n-gametes lead to the formation of fertile pollen up to 34% (Khokhlov et al., 1976). The 0-n-type megasporogenesis also occurs in haploids: up to 28% of normal embryo sacs are recorded in

various species. Despite the fact that haploid plants are extremely sterile, when pollinated with normal pollen from diploid plants, they produce seeds, although in insignificant quantities (Khokhlov et al., 1976). This is indirectly confirmed by the fact that few (two to three) plants with single seeds appear on callus androgenic lines with multiple regeneration of haploids (Ilyushko, Romashova, 2019), which are probably formed through megasporogenesis and microsporogenesis according to the 0-n type with subsequent self-pollination. Aneuploid evolution explains the intraspecific variability of chromosome numbers among plant species with low ploidy.

As for rice, Y. Wu et al. (2018) assume the creation of aneuploid synthetic species. This is especially true for cultivated species with unsuccessful polyploidy. Rice has relatively stable tetraploid formation (He et al., 2010), including that in another *in vitro* culture (Ilyushko, Romashova, 2020). However, there are no commercial polyploid cultivars due to low pollen fertility (He et al., 2010). Aneuploid technologies can help in the artificial formation of new polyploid crops, and rice is given a primary role (Wu et al., 2018).

Conclusions

The existing concepts of aneuploid evolution are strongly associated with polyploid species, in which a high percentage of duplicated genes makes possible the loss of a part of DNA and even individual chromosomes without a drop in viability. Diploid plant species are able to follow the aneuploid path of development with an increase in DNA content, including acquisition of additional chromosomes. This study clearly demonstrated an increase in nuclear DNA content in 19 haploids of the *O. sativa* androgenic callus line. The results obtained are the theoretical basis for the creation of synthetic aneuploid cultivated plant species using modern biotechnological *in vitro* methods, and can explain the emergence of intraspecific variability in chromosome numbers among wild plant species with low ploidy.

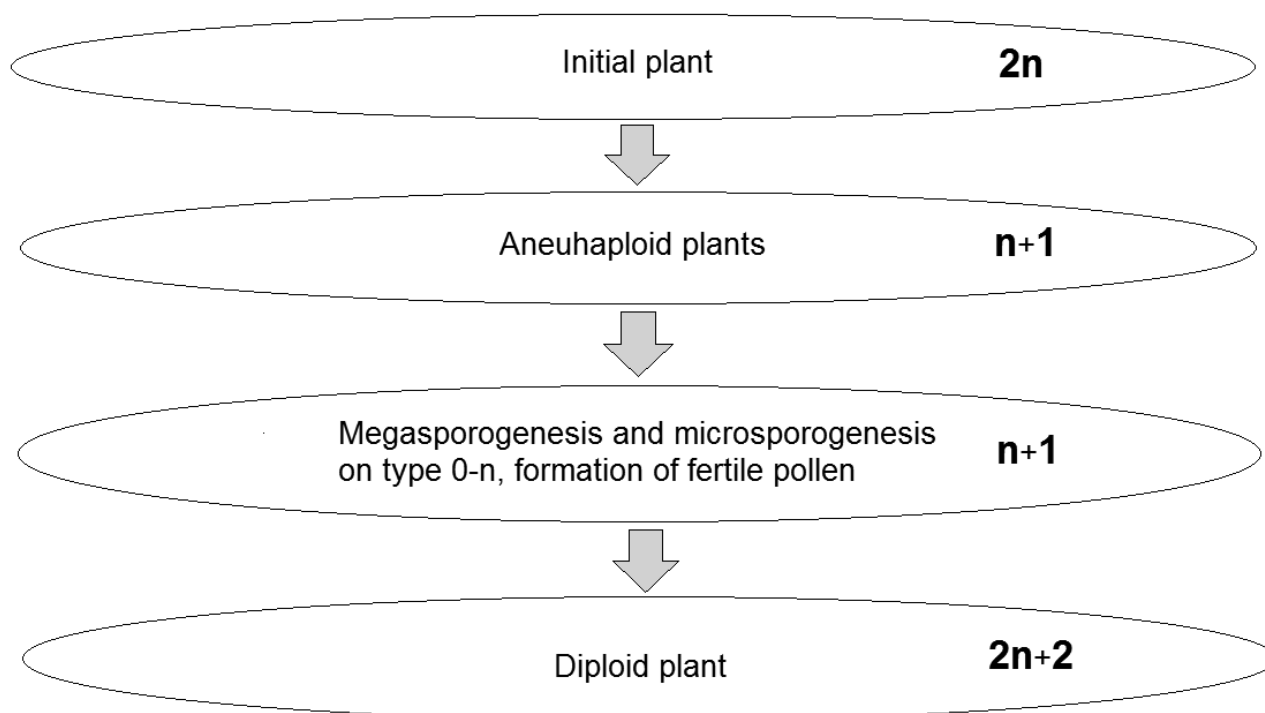


Fig. 3. Diagram of aneuploid plant evolution

Рис. 3. Схема анеугаплоидной эволюции растений

References / Литература

- Agapova N.D., Arkharova K.B., Vakhtina L.I., Zemskova E.A., Tarvis L.V. Numeri chromosomatum Magnoliophytorum florum URSS: Aceraceae–Menyanthaceae. A.L. Takhtajan (ed.). Leningrad: Nauka; 1990. [in Russian] (Агапова Н.Д., Архарова К.Б., Вахтина Л.И., Земскова Е.А., Тарвис Л.В. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР: Семейства Асеровые–Менянтовые / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Ленинград: Наука; 1990).
- Agapova N.D., Arkharova K.B., Vakhtina L.I., Zemskova E.A., Tarvis L.V., Saphonova I.N. Numeri chromosomatum Magnoliophytorum florum URSS: Moraceae–Zygophyllaceae. A.L. Takhtajan (ed.). St. Petersburg: Nauka; 1993. [in Russian] (Агапова Н.Д., Архарова К.Б., Вахтина Л.И., Земскова Е.А., Тарвис Л.В., Сафонова И.Н. Числа хромосом цветковых растений флоры СССР: Семейства Морасовые–Зygophyllaceae / под ред. А.Л. Тахтаджяна. Санкт-Петербург: Наука; 1993).
- Bai C., Alverson W.S., Follansbee A., Waller D.M. New reports of nuclear DNA content for 407 vascular plant taxa from the United States. *Annals of Botany*. 2012;110(8):1623-1629. DOI: 10.1093/aob/mcs222
- Barow M., Jovtchev G. Endopolyploidy in plants and its analysis by flow cytometry. In: J. Doležel, J. Greilhuber, J. Suda (eds). *Flow Cytometry with Plant Cells: Analysis of Genes, Chromosomes and Genomes*. Weinheim: Wiley-VCH; 2007. p.349-372. DOI: 10.1002/9783527610921.ch15
- Bennett M.D., Smith J.B. Nuclear DNA amounts in angiosperms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1991;334(1271):309-345. DOI: 10.1098/rstb.1991.0120
- Cistué L., Soriano M., Castillo A.M., Vallés M.P., Sanz J.M., Echávarri B. Production of doubled haploids in durum wheat (*Triticum turgidum* L.) through isolated microspore culture. *Plant Cell Reports*. 2006;25(4):257-264. DOI: 10.1007/s00299-005-0047-8
- De Wet J.M.J. Reversible tetraploidy as an evolutionary mechanism. *Evolution*. 1971;25:545-548. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1971.tb01914.x
- Grant V. Plant speciation. New York, NY: Columbia University Press; 1981. DOI: 10.7312/gran92318
- He Y., Wei Q., Ge J., Jiang A., Gan L., Song Z. et al. Genome duplication effects on pollen development and the interrelated physiological substances in tetraploid rice with polyploidy meiosis stability. *Planta*. 2010;232(5):1219-1228. DOI: 10.1007/s00425-010-1249-z
- Ilyushko M.V., Romashova M.V. Formation of rice tetraploids in *in vitro* androgenesis. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;46(4):332-336. DOI: 10.3103/S1068367420040084
- Ilyushko M.V., Romashova M.V. Variability of rice haploids obtained from *in vitro* anther culture. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;45(3):243-246. DOI: 10.3103/S1068367419030108
- Ilyushko M.V., Romashova M.V., Zhang J.M., Deng L.W., Liu D.J., Zhang R., Guchenko S.S. Intra-callus variability of rice doubled haploids generated through *in vitro* androgenesis. *Agricultural Biology*. 2020;55(3):533-543. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.533eng
- Ilyushko M.V., Skaptsov M.V., Romashova M.V. Nuclear DNA content in rice (*Oryza sativa* L.) regenerants derived from anther culture *in vitro*. *Agricultural Biology*. 2018;53(3):531-538. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.531eng
- Jauhar P.P., Xu S.S., Baenziger P.S. Haploidy in cultivated wheats: Induction and utility in basic and applied research. *Crop Science*. 2009;49(3):737-755. DOI: 10.2135/cropsci2008.08.0462
- Kasha K.J., Hu T.C., Oro R., Simion E., Shim Y.S. Nuclear fusion leads to chromosome doubling during mannitol pretreatment of barley (*Hordeum vulgare* L.) microspores. *Journal of Experimental Botany*. 2001;52(359):1227-1238. DOI: 10.1093/jxb/52.359.1227
- Khokhlov S.S., Tyrnov V.S., Grishina E.V., Davoyan N.I., Zaitseva M.I., Zverzhanskaya L.S., Selivanov A.S., Sukhanov V.M., Shishkinskaya N.A., Guseva A.I. Haploidy and breeding (Haploidiya i selektsiya). Moscow: Nauka; 1976. [in Russian] (Хохлов С.С., Тырнов В.С., Гришина Е.В., Давоян Н.И., Зайцева М.И., Звержанская Л.С., Селиванов А.С., Суханов В.М., Шишкинская Н.А., Гусева А.И. Гаплоидия и селекция. Москва: Наука; 1976).
- Kikuchi S., Takaiwa F., Oono K. Variable copy number DNA sequences in rice. *Molecular and General Genetics*. 1987;210(3):373-380. DOI: 10.1007/BF00327185
- Kirillova G.A. Phenomenon of haploidy in angiospermous plants (Yavleniye gaploidii u pokrytosemennyykh rasteniy). *Genetika = Genetics*. 1966;2:137-147. [in Russian] (Кириллова Г.А. Явление гаплоидии у покрытосеменных растений. *Генетика*. 1966;2:137-147).
- Kunakh V.A. Genome variability in plant somatic cells. 2. Natural variability (Genomnaya izmenchivost somaticheskikh kletok rasteniy. 2. Izmenchivost v prirode). *Biopolymers and Cell*. 1995;11(6):5-40. [in Russian] (Кунах В.А. Геномная изменчивость соматических клеток растений. 2. Изменчивость в природе. *Биополимеры и клетка*. 1995;11(6):5-40).
- Kunakh V.A. Genome variability in plant somatic cells. 4. Variability in the process of dedifferentiation and callus formation *in vitro* (Genomnaya izmenchivost somaticheskikh kletok rasteniy. 4. Izmenchivost v protsesse dedifferentsirovki i kallusobrazovaniya *in vitro*). *Biopolymers and Cell*. 1998;14(4):298-319. [in Russian] (Кунах В.А. Геномная изменчивость соматических клеток растений. 4. Изменчивость в процессе дедифференцировки и каллусообразования *in vitro*. *Биополимеры и клетка*. 1998;14(4):298-319). DOI: 10.7124/bc.0004DB
- Kuznetsova O.I., Ash O.A., Gostimsky S.A. The effect of duration of callus culture on the accumulation of genetic alteration in pea *Pisum sativum* L. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(5):555-562. DOI: 10.1134/s1022795406050139
- Levin D.A. Why polyploidy exceptionalism is not accompanied by reduced extinction rates. *Plant Systematics and Evolution*. 2019;305(1):1-11. DOI: 10.1007/s00606-018-1552-x
- Lewis H. Speciation in flowering plants. *Science*. 1966;152(3719):167-172. DOI: 10.26434/chemrxiv-2019-01167
- Ochatt S.J. Flow cytometry in plant breeding. *Cytometry*. 2008;73(7):581-598. DOI: 10.1002/cyto.a.20562
- Raven P.H., Thompson H.J. Haploidy and angiosperm evolution. *The American Naturalist*. 1964;98(901):251-252. DOI: 10.1086/282324
- Scowcroft W.R. Somaclonal variation: The myth of clonal uniformity. In: B. Hohn, E.S. Dennis (eds). *Genetic Flux in Planta*. Wien: Springer; 1985. p.217-245. DOI: 10.1007/978-3-7091-8765-4
- Skaptsov M.V., Smirnov S.V., Kutsev M.G., Shmakov A.I. Problems of a standardization in plant flow cytometry. *Turczaninowia*. 2016;19(3):120-122. [in Russian] (Скапцов М.В., Смирнов С.В., Куцев М.Г., Шмаков А.И. Проблемы стандартизации в проточной цитометрии растений. *Turczaninowia*. 2016;19(3):120-122). DOI: 10.14258/turczaninowia.19.3.9

- Stebbins G.L. A brief summary of my ideas on evolution. *American Journal of Botany*. 1999; 86(8):1207-1208. DOI: 10.2307/2656985
- Stebbins G.L. Chromosomal variation and evolution. *Science*. 1966; 152(3728):1463-1469. DOI: 10.1126/science.152.3728.1463
- Stebbins G.L. Polyploidy, hybridization, and the invasion of new habitats. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1985;72(4):824-832. DOI: 10.2307/2399224
- Takhtajan A. Flowering plants. Dordrecht: Springer; 2009. DOI: 10.1007/978-1-4020-9609-9
- Takhtajan A.L. Macroevolutionary processes in the history of the plant world (Макроеволюционные процессы в истории растительного мира). *Ботанический журнал*. 1983;68(12):1593-1603. [in Russian] (Тахтаджян А.Л. Макроеволюционные процессы в истории растительного мира. *Ботанический журнал*. 1983;68(12):1593-1603).
- Tsatsenko L.V., Mosunov S.A. Gametes with somatic number of chromosomes: the mechanisms of their formation and their role in evolution of autopolyploid plants (review). *Agricultural Biology*. 2008;43(1):16-25. [in Russian] (Цаценко Л.В., Мосунов С.А. Гаметы с соматическим числом хромосом: механизмы их формирования и роль в эволюции автополиплоидных растений (обзор иностранной литературы). *Сельскохозяйственная биология*. 2008;43(1):16-25).
- Tyrnov V.S. Haploidy in plants (Haploidiya u rasteniy). Saratov: Saratov University; 2005. [in Russian] (Тырнов В.С. Гаплоидия у растений. Саратов: Саратовский университет; 2005).
- Wu Y., Sun Y., Sun S., Li G., Wang J., Wang B. et al. Aneuploidization under segmental allotetraploidy in rice and its phenotypic manifestation. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(6):1273-1285. DOI: 10.1007/s00122-018-3077-7
- Zagorska N.A., Shtereva L.A., Kruleva M.M., Sotirova V.G., Baraliev D.L., Dimotrov B.D. Induced androgenesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). III. Characterization of the regenerants. *Plant Cell Reports*. 2004;22(7):449-456. DOI: 10.1007/s00299-003-0720-8
- Zeyl C., Vanderford T., Carter M. An evolutionary advantage of haploidy in large yeast populations. *Science*. 2003;299(5606):555-558. DOI: 10.1126/science.1078417
- Zheng K.L., Castiglione S., Biasini M.G., Biroli A., Morandi C., Sala F. Nuclear DNA amplification in cultured cells of *Oryza sativa* L. *Theoretical and Applied Genetics*. 1987;74(1):65-70. DOI: 10.1007/BF00290085

Information about the authors

Marina V. Ilyushko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlement, Ussuriysk 692539, Russia, ilyushkoiris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7042-8641>

Mikhail V. Skaptsov, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Altai State University, South-Siberian Botanical Garden, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, mr.skaprsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4884-0768>

Marina V. Romashova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 30 Volozhenina St., Timiryazevsky Settlement, Ussuriysk 692539, Russia, romashova_1969@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7426-8523>

Информация об авторах

Марина Владиславовна Илюшко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, ilyushkoiris@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7042-8641>

Михаил Викторович Скапцов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Алтайский государственный университет, Южно-Сибирский ботанический сад, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, mr.skaprsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4884-0768>

Марина Викторовна Ромашова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 692539 Россия, Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, romashova_1969@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7426-8523>

Contribution of the authors: M.V. Ilyushko (60%): generation of the idea, obtaining of androgenic regenerants, data analysis, preparation of the publication; M.V. Skaptsov (30%): flow cytometry; M.V. Romashova (10%): rooting of the regenerants.

Вклад авторов: Илюшко М.В. (60%): генерация идеи, получение андрогенных регенерантов, анализ данных, подготовка публикации; Скапцов М.В. (30%): проточная цитометрия; Ромашова М.В. (10%): укоренение регенерантов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.06.2021; одобрена после рецензирования 26.07.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 02.06.2022; approved after reviewing on 26.07.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 581.6:581.9

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-181-191



Дикие родичи культурных растений на особо охраняемых природных территориях Республики Башкортостан

С. Р. Мифтахова¹, Л. М. Абрамова², Н. М. Сайфуллина³, О. В. Юсупова⁴¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия² Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт, Уфа, Россия³ Государственный природный биосферный заповедник «Шульган-Таш», Бурзянский район, Башкортостан, Россия⁴ Южно-Уральский государственный природный заповедник, Белорецкий район, Башкортостан, Россия

Автор, ответственный за переписку: Снежана Ринатовна Мифтахова, s.miftahova@vir.nw.ru

Актуальность. Всестороннее исследование диких родичей культурных растений (ДРКР) необходимо для обеспечения продовольственной безопасности. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) выступают основными резерватами для сохранения ДРКР *in situ* и их популяционно-генетического изучения. В Республике Башкортостан (РБ) находятся 4 ООПТ федерального значения: национальный парк «Башкирия», государственный природный биосферный заповедник «Шульган-Таш», Южно-Уральский и Башкирский государственные природные заповедники.

Материалы и методы. Флористическое изучение ДРКР проводилось стандартным маршрутным методом. При анализе ДРКР использовались методы сравнительной флористики. Оценка хозяйственной значимости видов проводилась согласно разработкам ВИР.

Результаты. Всего из 259 видов ДРКР, произрастающих в РБ, на ООПТ федерального значения встречаются 186 видов ДРКР (72%) с наибольшим числом видов в национальном парке «Башкирия» (148 видов). В составе ДРКР исследованных ООПТ преобладают представители семейств Poaceae, Fabaceae, Rosaceae, Lamiaceae и родов *Poa* L., *Trifolium* L., *Lathyrus* L., *Allium* L. ДРКР в основном приурочены к опушечно-луговым, опушечным, степным и прибрежным сообществам, только в Южно-Уральском заповеднике представлены высокогорные и болотные виды. В исследованных ООПТ – 13 региональных эндемиков и 34 вида на границе ареала. Из 23 видов ДРКР, занесенных в Красную книгу РБ, 7 видов охраняются на исследованных территориях: *Allium obliquum* L., *Crambe tataria* Sebeok, *Linum uralense* Juz., *Melilotoides platycarpus* (L.) Soják, *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Rubus arcticus* L., *R. humulifolius* C.A. Mey.

Заключение. Редкие виды ДРКР нуждаются в мониторинге популяций на исследованных ООПТ. Восемь видов рекомендованы к дальнейшим популяционно-генетическим исследованиям: *Amygdalus nana* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Allium rubens* Schrad. ex Willd., *A. obliquum* L., *A. schoenoprasum* L., *Lathyrus gmelinii* Fritsch, *L. litvinovii* Iljin, *L. sylvestris* L.

Ключевые слова: Южный Урал, сохранение *in situ*, границы ареалов, перспективные для селекции виды

Благодарности: работа выполнена по теме «Раскрытие научного потенциала гербарной коллекции ВИР как особой специфической единицы хранения мирового агробиоразнообразия для научно обоснованной мобилизации, эффективного изучения и сохранения генофонда культурных растений и их диких родичей» в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова № 0481-2022-0006; по теме Уфимского федерального исследовательского центра РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-03-2022-001; по теме «Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника «Шульган-Таш», их изучение по программе «Летописи природы», мониторинг биоразнообразия биосферного резервата «Башкирский Урал» в рамках государственного задания Государственного природного биосферного заповедника «Шульган-Таш» № 051-00079-22-00; по теме «Летопись природы» в рамках государственного задания Южно-Уральского государственного природного заповедника № 051-00084-22-00.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Мифтахова С.Р., Абрамова Л.М., Сайфуллина Н.М., Юсупова О.В. Дикие родичи культурных растений на особо охраняемых природных территориях Республики Башкортостан. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):181-191. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-181-191

© Мифтахова С. Р., Абрамова Л. М., Сайфуллина Н.М., Юсупова О.В., 2022

SYSTEMATICS, PHYLOGENY AND GEOGRAPHY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-181-191

Crop wild relatives in the protected areas of the Republic of Bashkortostan

Snezhana R. Miftakhova¹, Larisa M. Abramova², Nailya M. Saifullina³, Oksana V. Yusupova⁴¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia² Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute, Ufa, Russia³ Shulgan-Tash Biosphere Nature Reserve, Burzyansky District, Russia⁴ South-Ural Nature Reserve, Beloretsky District, Russia**Corresponding author:** Snezhana R. Miftakhova, s.miftakhova@vir.nw.ru

Background. Comprehensive research into crop wild relatives (CWR) is essential to ensure food security. Protected areas serve as the main reserves for CWR *in situ* conservation and their population genetics studies. There are four federal protected areas in the Republic of Bashkortostan: the Bashkiria National Park, the Shulgan-Tash State Biosphere Nature Reserve, the South Ural and Bashkir State Nature Reserves.

Materials and methods. The floristic study of CWR was conducted using the standard route method. The methods of comparative floristics were applied in the CWR analysis. The economic value of plant species was assessed according to the ranking developed at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources.

Results. In total, out of 259 species of CWR growing in Bashkortostan, 186 (72%) occur in the federal protected areas, with the highest number in the Bashkiria National Park (148 spp.). Species belonging to the Poaceae, Fabaceae, Rosaceae and Lamiaceae families and the *Poa* L., *Trifolium* L., *Lathyrus* L., *Allium* L. genera are predominant. CWR are mainly confined to the forest meadow, forest margin, steppe and riverside communities. Alpine and raised bog CWR species occur only in the South-Ural Nature Reserve. There are 13 regional endemics in the studied territories and 34 species on their range boundaries. Of the 23 CWR species listed in the regional Red Book, seven are conserved in the surveyed areas: *Allium obliquum* L., *Crambe tataria* Sebeok, *Linum uralense* Juz., *Melilotoides platycarpus* (L.) Soják, *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Rubus arcticus* L., and *R. humulifolius* C.A. Mey.

Conclusion. Monitoring of the rare CWR species populations is required in the surveyed protected areas. Eight CWR species are recommended for further population genetics studies: *Amygdalus nana* L., *Cerasus fruticosa* Pall., *Allium rubens* Schrad. ex Willd., *A. obliquum* L., *A. schoenoprasum* L., *Lathyrus gmelinii* Fritsch, *L. litvinovii* Iljin, and *L. sylvestris* L.

Keywords: South Urals, *in situ* conservation, range boundaries, promising species for breeding

Acknowledgements: the study was conducted within the framework of the state task assigned to VIR, theme No. 0481-2022-0006 “Disclosing the scientific potential of the herbarium collection at VIR as an independent specific unit of worldwide agricultural biodiversity conservation for scientifically justified mobilization, effective studying and preservation of genetic diversity”; within the framework of the state task assigned to the South-Ural Botanical Garden–Institute, Ufa Federal Research Center, theme No. 075-03-2022-001 “Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: evaluation of the status and monitoring of the dynamics, problems of conservation, reproduction, replenishment and sustainable utilization”; within the framework of the state task assigned to the Shulgan-Tash Nature Reserve, theme No. 051-00079-22-00 “Observation of phenomena and processes in the natural system of the Shulgan-Tash Nature Reserve, their study under the Chronicles of Nature program, and biodiversity monitoring in the Bashkir Urals Biosphere Reserve”; and within the framework of the state task assigned to the South-Ural State Nature Reserve, theme No. 051-00084-22-00 “Chronicles of Nature”.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Miftakhova S.R., Abramova L.M., Saifullina N.M., Yusupova O.V. Crop wild relatives in the protected areas of the Republic of Bashkortostan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):181-191. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-181-191

Введение

Дикие родичи культурных растений (ДРКР), к которым относятся виды, входящие в один род с культурными растениями и перспективные для хозяйственного использования, подлежат тщательному изучению, мобилизации и сохранению в целях обеспечения продовольственной безопасности (Chukhina et al., 2020). Особо охраняемые природные территории (ООПТ) с наиболее строгим режимом охраны – заповедники и национальные парки – не только выступают самыми надежными резерватами для сохранения ДРКР *in situ*, но и служат идеальными природными площадками для их популяционно-генетического изучения.

Цель настоящей работы – охарактеризовать разнообразие ДРКР на ООПТ федерального значения Республики Башкортостан и выявить виды, представляющие интерес для дальнейших исследований.

Условия исследований

Изучение ДРКР проходило на четырех крупных ООПТ Республики Башкортостан: в Южно-Уральском государственном природном заповеднике (Южно-Уральский ГПЗ), Башкирском государственном природном заповеднике (Башкирский ГПЗ), государственном природном биосферном заповеднике «Шульган-Таш» (ГПБЗ «Шульган-Таш») и национальном парке «Башкирия» (НП «Башкирия»). Все исследованные ООПТ находятся в горной части Республики Башкортостан (рис. 1).

Южно-Уральский ГПЗ расположен в центральной части Южного Урала и является крупнейшим заповедником региона ($S = 252,8$ тыс. га). Здесь находится самый высокий горный узел Южного Урала, сложенный хребтами Машак, Зигальга, Нары, Кумардак и горным массивом Ямантау с наивысшей отметкой 1639 м н. у. м. Согласно ботанико-географическому делению Башкортостана, территория заповедника располагается на стыке трех районов: Зильмердакского района широколиственно-темнохвойных лесов, Ямантауского района темнохвойных лесов и высокогорной растительности и района светлехвойных лесов центральной части Южного Урала. Темнохвойные леса сложены елово-пихтовыми и пихтово-еловыми насаждениями; светлехвойные леса образованы сосной обыкновенной с участием лиственницы Сукчаева. Леса занимают 89% территории заповедника. На высоте свыше 1000 м н. у. м. распространены гольцовые ландшафты с участками высокогорной растительности. Луговые сообщества представлены лесными среднегорными лугами и субальпийским высокотравьем (Mirkin, 2008).

Башкирский ГПЗ занимает восточный макросклон Южного Урала – хребет Уралтау и горный массив Южный Крак с максимальной высотой 928 м н. у. м. ($S = 49,6$ тыс. га). Вся территория заповедника лежит в пределах района светлехвойных лесов центральной части Южного Урала. На хребтах Южного Крак преобладают сильно остепненные сосновые боры с лиственницей, на хребте Уралтау – производные березняки и осинники. На лесную рас-

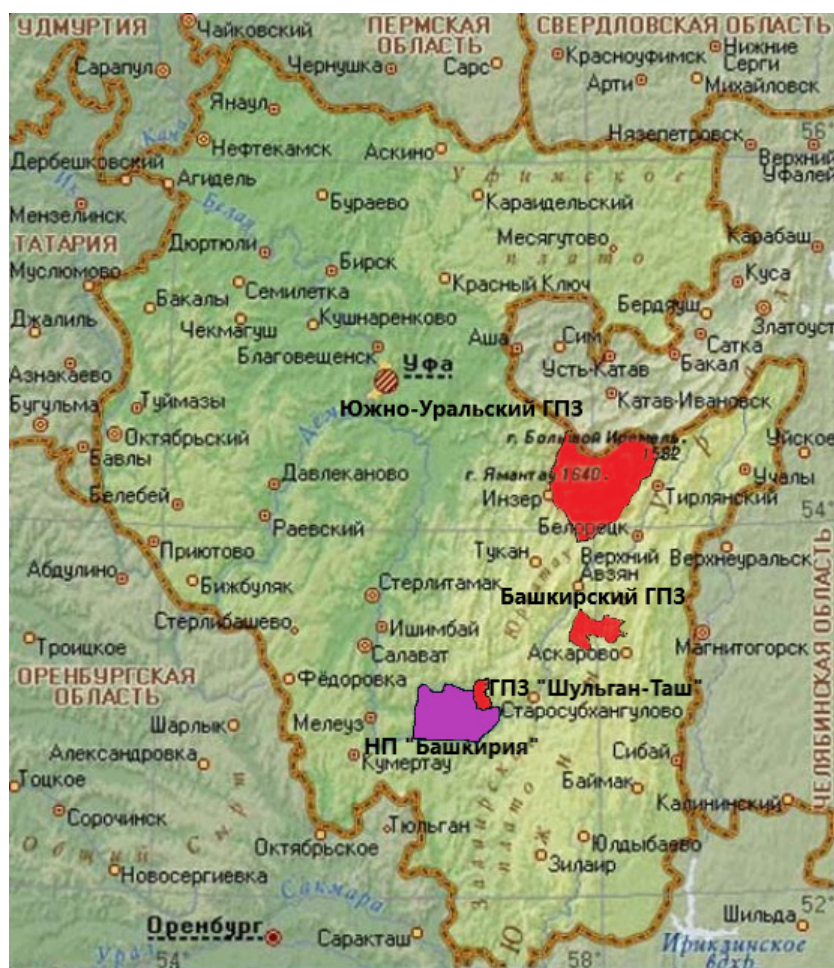


Рис. 1. ООПТ федерального значения Республики Башкортостан

Fig. 1. Federal protected areas in the Republic of Bashkortostan

ительность приходится 80% территории заповедника, остальные 20% занимают участки низкогорной степи, приуроченные к склонам южной экспозиции. Луговые сообщества немногочисленны и встречаются в основном по склонам и плоским гребням хребта Уралтау (Martynenko et al., 2003).

ГПБЗ «Шульган-Таш» находится в западных предгорьях Южного Урала в междуречье рек Нугуш и Белая ($S = 22,5$ тыс. га). Для территории заповедника характерен хребтово-увалистый рельеф с наибольшей отметкой 706 м н. у. м. и глубокие каньонообразные речные долины. Здесь проходит граница двух ботанико-географических районов – района широколиственных лесов западного макросклона Южного Урала и района светлохвойных лесов центральной части Южного Урала. Лесная растительность занимает 92% территории. В северной части заповедника преобладают сосновые и сосново-березовые леса. В южной части господствуют смешанные липово-кленово-дубовые сообщества. Луговая растительность заповедника отличается высоким видовым разнообразием и преобладанием сообществ остепненных и влажных лугов (Martynenko et al., 2005).

НП «Башкирия» также расположен в междуречье рек Нугуш и Белая, юго-западнее ГПБЗ «Шульган-Таш» и имеет общую границу с заповедником ($S = 82,3$ тыс. га). Территория национального парка занимает хребты Ямантау, Кибиз, Утямыш и Баш-Алатау, а также прилегающие к ним с юга восточные отроги Общего Сырта и северную часть Зилаирского плато. Абсолютные высоты хребтов колеблются от 500 до 700 м н. у. м. Большая часть территории национального парка находится в районе широколиственных лесов западного макросклона Южного Урала, к которому на юге примыкает лесной и лесостепной район Зилаирского плато, на востоке – район светлохвойных лесов центральной части Южного Урала. Лесами покрыто 80% территории, из них 70% приходится на широколиственные леса. Характерной чертой степных сообществ национального парка, приуроченных к крутым и каменистым склонам и вершинам хребтов, является обилие петрофитных видов. Луговая растительность представлена остепненными и влажными лугами (Mirkin, 2010).

Материалы и методы исследований

Флористические исследования ДРКР проводились маршрутным методом в течение полевых сезонов 2012–2013 гг. и в июле 2021 г.

Для инвентаризации видов ДРКР были использованы флористические списки (Martynenko et al., 2003; Martynenko et al., 2005; Mirkin, 2008; Mirkin, 2010), а также материалы гербарных коллекций исследованных ООПТ. В список ДРКР включались аборигенные, а также натурализовавшиеся адвентивные виды; декоративные и лекарственные растения специально не рассматривались (Smekalova, Chukhina, 2005).

Названия таксонов приведены в соответствии со сводкой С. К. Черепанова (Cherepanov, 1995) и «Конспектом флоры Челябинской области» (Kulikov, 2005), за исключением рода *Trifolium* L., представленного согласно «Флоре европейской части СССР» (Fedorov, 1987).

При анализе ДРКР применялась методика флористического анализа (Tolmachev, 1986).

Хозяйственно-экономическая значимость видов оценивалась на основе ранжирования ДРКР, разработанного во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (Smekalova, Chukhina, 2005):

1 ранг – виды, непосредственно представленные в культуре, имеют селекционные сорта;

2 ранг – виды, непосредственно участвующие в скрещиваниях, используемые как источники генов или как подвои;

3 ранг – виды близкого родства с введенными в культуру (в составе одной секции, одного подрода), перспективные для хозяйственного использования;

4 ранг – другие полезные виды рода, используемые в собирательстве и народной селекции (сортов нет);

5 ранг – все остальные виды данного рода.

Результаты и обсуждение

В Башкортостане встречаются 259 видов ДРКР, принадлежащих к 22 семействам и 72 родам (Miftakhova, Abramova, 2014). Из них в НП «Башкирия» представлено 148 видов, в ГПБЗ «Шульган-Таш» – 142 вида, в Южно-Уральском ГПЗ – 135 видов и в Башкирском ГПЗ – 116 видов (табл. 1). Максимальное таксономическое разнообразие ДРКР сосредоточено в НП «Башкирия», занимающем наиболее южное положение на западном макросклоне Южного Урала и находящемся на стыке лесной и степной зон. В целом, таксономическое богатство ДРКР убывает при движении на север, а также сокращается на восточном макросклоне Южного Урала, достигая наименьшего показателя в Башкирском ГПЗ.

По таксономическому составу ДРКР исследованных ООПТ обнаруживают значительное сходство, объясняемое положением этих территорий в составе Южно-Уральской флористической подпровинции (Kamelin, 2002). К ведущим семействам ДРКР относятся *Рoaceae*, *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Lamiaceae*, а также *Asteraceae*, *Alliaceae* и *Polygonaceae* (табл. 2). Восемнадцать семейств ДРКР представлены на всех исследованных ООПТ. ДРКР из семейств *Betulaceae* и *Linaceae* встречаются исключительно в НП «Башкирия». Виды из семейства *Ericaceae*, приуроченные к бореальным и гемибореальным лесам, характерны только для Южно-Уральского и Башкирского ГПЗ.

Наибольшее число видов ДРКР на исследованных ООПТ принадлежит к родам *Poa* L. и *Trifolium* L. (табл. 3). Для НП «Башкирия» и ГПБЗ «Шульган-Таш» характерно также высокое видовое разнообразие родов *Lathyrus* L. и *Allium* L. В родовом спектре ДРКР Южно-Уральского ГПЗ повышается позиция рода *Festuca* L. за счет таких арктоальпийских видов, как *Festuca austroalpinica* Kulikov, *F. igoschiniae* Tzvelev, *F. richardsonii* Hook., и появляется род *Rubus* L., что связано с присутствием гипоаркто-бореальных видов *Rubus arcticus* L., *R. chamaemorus* L. и *R. humulifolius* C.A. Mey. Напротив, в НП «Башкирия» и ГПБЗ «Шульган-Таш» увеличивается число петрофитно-степных видов из рода *Thymus* L.

Общими для исследованных территорий являются 46 родов ДРКР. Шесть родов (*Corylus* L., *Crambe* L., *Krascheninnikovia* Turcz., *Onobrychis* Adans., *Linum* L., *Amygdalus* L.) специфичны для НП «Башкирия»: здесь проходит восточная граница распространения *Corylus avellana* L. и представлены такие степные виды, как *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., *Linum flavum* L., *Crambe tataria* Sebeok, *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., *Amygdalus nana* L. Еще три рода (*Oxycoccus* Adans., *Sambucus* L., *Trisetum* Pers.) можно обнаружить только в Южно-Уральском ГПЗ: к ним относятся бореальные виды *Oxycoccus palustris* Pers., *O. microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Sambucus sibirica* Nakai и *Trisetum sibiricum* Rupr.

Таблица 1. Число семейств, родов и видов ДРКР на исследованных ООПТ
Table 1. Number of CWR families, genera and species in the surveyed protected areas

ООПТ / Protected areas	Число семейств / Number of families	Число родов / Number of genera	Число видов / Number of species
НП «Башкирия»	20	60	148
ГПБЗ «Шульган-Таш»	18	55	142
Южно-Уральский ГПЗ	19	52	135
Башкирский ГПЗ	19	53	116

Таблица 2. Ведущие по числу видов ДРКР семейства на исследованных ООПТ
Table 2. CWR families containing the largest numbers of species in the surveyed protected areas

НП «Башкирия» / Bashkiria National Park	ГПБЗ «Шульган-Таш» / Shulgan-Tash Biosphere Nature Reserve	Южно-Уральский ГПЗ / South-Ural Nature Reserve	Башкирский ГПЗ / Bashkir Nature Reserve
Poaceae (36)	Poaceae (40)	Poaceae (40)	Poaceae (32)
Fabaceae (30)	Fabaceae (31)	Fabaceae (25)	Fabaceae (24)
Rosaceae (14)	Rosaceae (13)	Rosaceae (16)	Rosaceae (12)
Lamiaceae (13)	Lamiaceae (13)	Lamiaceae (10)	Lamiaceae (9)
Asteraceae (9)	Asteraceae (8)	Polygonaceae (7)	Polygonaceae (7)
Alliaceae (9)	Alliaceae (8)	Asteraceae (5)	Asteraceae (6)
Polygonaceae (7)	Polygonaceae (8)	Alliaceae (5)	Alliaceae (5)

Таблица 3. Ведущие по числу видов ДРКР роды на исследованных ООПТ
Table 3. CWR genera containing the largest numbers of species in the studied protected areas

НП «Башкирия» / Bashkiria National Park	ГПБЗ «Шульган-Таш» / Shulgan-Tash Biosphere Nature Reserve	Южно-Уральский ГПЗ / South-Ural Nature Reserve	Башкирский ГПЗ / Bashkir Nature Reserve
<i>Poa</i> (11)	<i>Poa</i> (12)	<i>Poa</i> (13)	<i>Poa</i> (9)
<i>Trifolium</i> (9)	<i>Trifolium</i> (10)	<i>Trifolium</i> (8)	<i>Trifolium</i> (9)
<i>Lathyrus</i> (9)	<i>Lathyrus</i> (9)	<i>Festuca</i> (8)	<i>Rumex</i> (7)
<i>Allium</i> (9)	<i>Allium</i> (8)	<i>Rumex</i> (7)	<i>Lathyrus</i> (6)
<i>Festuca</i> (8)	<i>Rumex</i> (8)	<i>Lathyrus</i> (6)	<i>Allium</i> (5)
<i>Rumex</i> (7)	<i>Festuca</i> (7)	<i>Rubus</i> (6)	<i>Festuca</i> (4)
<i>Vicia</i> , <i>Thymus</i> (5)	<i>Vicia</i> , <i>Thymus</i> (5)	<i>Allium</i> , <i>Vicia</i> (5)	<i>Vicia</i> (4)

В ходе эколого-ценотического анализа было установлено, что на исследованных ООПТ преобладают луговые и лесные виды ДРКР (рис. 2). В основном, они приурочены к экотонным опушечно-луговым (*Carum carvi* L., *Trifolium hybridum* L., *Hypericum perforatum* L., *Dactylus glomerata* L., etc.) и опушечным (*Lathyrus litvinovii* Iljin, *Crataegus sanguinea* Pall., *Fragaria vesca* L., *Rubus idaeus* L., etc.) сооб-

ществам. Также распространены виды степных (*Allium rubens* Schrad. ex Willd., *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv., *Elytrigia lolioides* (Kar. & Kir.) Nevski, *Cerasus fruticosa* Pall., etc.) и прибрежных (*Angelica archangelica* L., *Humulus lupulus* L., *Ribes nigrum* L., etc.) местообитаний. Число степных видов ДРКР закономерно снижается в Южно-Уральском ГПЗ, при этом появляются виды высокогор-

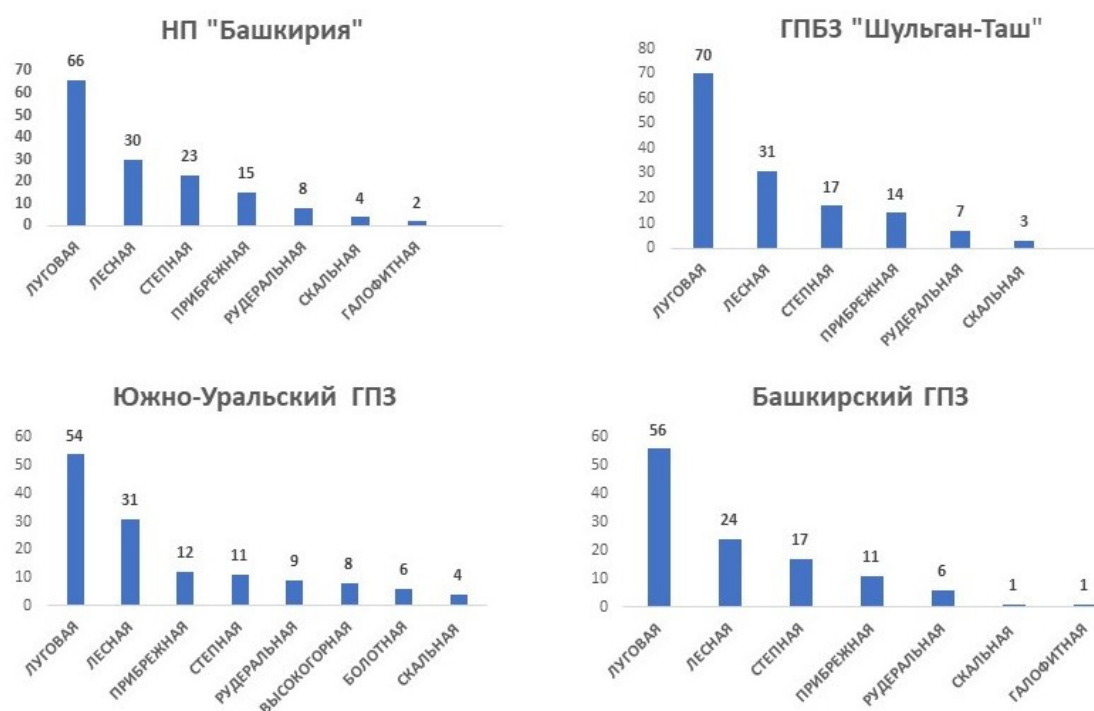


Рис. 2. Основные эколого-ценотические группы ДРКР на исследованных ООПТ

Fig. 2. Main ecocenosis groups of CWR in the surveyed protected areas

ных (*Thymus paucifolius* Klokov et Shost., *Alopecurus glaucus* Less., *Rumex lapponicus* (Hiit.) Czernov, etc.) и болотных (*Oxycoccus palustris* Pers., *Rubus chamaemorus* L., *Vaccinium uliginosum* L., etc.) фитоценозов. На всех ООПТ встречаются рудеральные виды ДРКР (*Arctium lappa* L., *Cannabis ruderalis* Janisch., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., etc.) и выделяется немногочисленная группа скальных видов (*Thymus talijevii* Klokov & Des.-Shost., *Elytrigia reflexiaristata* (Nevski) Nevski, *Poa lapponica* Prokudin, etc.). В НП «Башкирия» и Башкирском ГПЗ также незначительно представлены галофитно-луговые растения (*Trifolium fragiferum* L., *Lactuca tatarica* (L.) C.A. Mey., *Festuca arundinacea* Schreb.).

Положение исследованных ООПТ на Южном Урале – биогеографическом рубеже между европейскими и азиатскими видами – и на стыке лесного и степного типов растительности определяет высокое число видов, произрастающих на пределе своего распространения. Суммарно 34 вида ДРКР на исследованных ООПТ находятся близ границы своего ареала (Kucherov, Muldashev, 1988; Kucherov, Muldashev, 1989; Kulikov, 2005; Afonin et al., 2008) (табл. 4). Из них в НП «Башкирия» – 15 видов, в ГПБЗ «Шульган-Таш» – 12, в Южно-Уральском ГПЗ – 18 и в Башкирском ГПЗ – 11.

Для НП «Башкирия» и ГПБЗ «Шульган-Таш» характерно преобладание ДРКР на восточной границе ареала, поскольку во флорах этих территорий более широко представлены европейские виды (*Allium oleraceum* L., *Lathyrus pallescens* (Bieb.) K. Koch, *L. sylvestris* L., etc.). Северную границу ареала на исследованных ООПТ имеют виды ДРКР, приуроченные к степным сообществам (*Allium lineare* L., *A. tulipifolium* Ledeb., *Thymus guberlinensis* Iljin, etc.). Данные группы уже не встречаются в Южно-Уральском ГПЗ, занимающем наиболее северное и восточное положение. Напротив, здесь наблюдается максимальная концентрация бореальных элементов, находящихся на южном пределе распространения (*Agrostis clavata* Trin., *Sorbus sibirica* Hedl., *Vaccinium uliginosum*, etc.), а также сибирских ви-

дов (*Allium obliquum* L., *Lathyrus gmelinii* Fritsch, *Lonicera altaica* Pall., *Poa insignis* Litv. ex Roshev.).

Тринадцать видов ДРКР в составе исследованных ООПТ относятся к эндемикам, среди которых пять видов – из рода *Thymus* (табл. 5). Наиболее многочисленной группой являются уральские эндемики, малочисленной – поволжско-южноуральские, специфичные для НП «Башкирия» и ГПБЗ «Шульган-Таш». Высокогорные виды эндемиков встречаются в Южно-Уральском ГПЗ (*Alopecurus glaucus*, *Thymus paucifolius*, *Festuca igoschiniae*). На всех ООПТ представлены скальный вид *Elytrigia reflexiaristata*, опушечный вид *Lathyrus litvinovii* и петрофитно-степной *Thymus bashkiriensis* Klokov & Des.-Shost.

С точки зрения направлений хозяйственного использования на исследованных ООПТ преобладают растения кормового (40%) и пищевого (30%) значения. Ряд видов (24%) также являются медоносами (*Angelica archangelica* L., *Trifolium pratense* L., *Origanum vulgare* L., etc.). Доля растений технического применения (*Linum flavum*, *Cannabis ruderalis*, *Rumex thyrsoiflorus* Fingerh., etc.) незначительна (6%). Наиболее хозяйственно ценные виды (1 и 2 ранг) в среднем составляют 44,6% от общего числа ДРКР на исследованных территориях (рис. 3). К ним относятся в первую очередь кормовые (*Medicago falcata* L., *Vicia cracca* L., *Poa angustifolia* L., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert, etc.) и пищевые (*Allium schoenoprasum* L., *Rumex acetosa* L., *Ribes nigrum* L., *Cerasus fruticosa*, etc.) растения.

Изучение региональной Красной книги (Martynenko, 2021) показало, что из 23 редких и уязвимых видов ДРКР Башкортостана на исследованных ООПТ представлено семь видов (табл. 6).

Allium obliquum L. распространен по всему Южному Уралу и встречается на всех исследованных ООПТ. Местонахождения азиатского горно-лесного вида *Melilotoides platycarpus* (L.) Soják известны в Башкортостане только в Бурзянском районе, включая ГПБЗ «Шульган-Таш».

Таблица 4. Виды ДРКР, находящиеся близ границы своего ареала, на исследованных ООПТ
Table 4. CWR species close to the boundaries of their range of distribution in the surveyed protected areas

Виды / Species	НП «Башкирия» / Bashkiria National Park	ГПБЗ «Шульган- Таш» / Shulgan- Tash Biosphere Nature Reserve	Южно-Уральский ГПЗ / South-Ural Nature Reserve	Башкирский ГПЗ / Bashkir Nature Reserve
Северная граница ареала / Northern boundary of the range of distribution				
<i>Allium lineare</i>	+			
<i>Allium tulipifolium</i>	+	+		+
<i>Crambe tataria</i>	+			
<i>Elytrigia intermedia</i>				+
<i>Serratula cardunculus</i>	+			
<i>Thymus guberlinensis</i>		+		+
Южная граница ареала / Southern boundary of the range of distribution				
<i>Agrostis clavata</i>		+	+	
<i>Allium schoenoprasum</i>	+	+	+	
<i>Elymus mutabilis</i>				+
<i>Lactuca sibirica</i>	+			+
<i>Oxycoccus microcarpus</i>			+	
<i>Oxycoccus palustris</i>			+	
<i>Poa lapponica</i>	+	+	+	
<i>Rubus arcticus</i>			+	
<i>Rubus chamaemorus</i>			+	
<i>Rubus humulifolius</i>			+	
<i>Sambucus sibirica</i>			+	
<i>Sorbus sibirica</i>			+	
<i>Trisetum sibiricum</i>			+	
<i>Vaccinium myrtillus</i>			+	+
<i>Vaccinium uliginosum</i>			+	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			+	+
Западная граница ареала / Western boundary of the range of distribution				
<i>Allium obliquum</i>	+	+	+	+
<i>Lathyrus gmelinii</i>	+	+	+	+
<i>Lonicera altaica</i>			+	
<i>Poa insignis</i>			+	
Восточная граница ареала / Eastern boundary of the range of distribution				
<i>Allium oleraceum</i>	+	+		
<i>Arctium nemorosum</i>		+		
<i>Corylus avellana</i>	+			
<i>Crambe tataria</i>	+			
<i>Lathyrus pallescens</i>	+	+		+
<i>Lathyrus sylvestris</i>	+	+		
<i>Linum flavum</i>	+			
<i>Trifolium alpestre</i>		+		+

Таблица 5. Эндемичные виды ДРКР на исследованных ООПТ

Table 5. Endemic CWR species in the surveyed protected areas

Виды / Species	НП «Башкирия» / Bashkiria National Park	ГПБЗ «Шульган- Таш» / Shulgan-Tash Biosphere Nature Reserve	Южно-Уральский ГПЗ / South-Ural Nature Reserve	Башкирский ГПЗ / Bashkir Nature Reserve
Поволжско-южноуральские эндемики / Endemics of the Volga and South Ural region				
<i>Linum uralense</i>	+			
<i>Serratula gmelinii</i>	+	+		
Уральские эндемики / Endemics of the Ural region				
<i>Alopecurus glaucus</i>			+	
<i>Elymus viridiglumis</i>		+	+	
<i>Elytrigia reflexiaristata</i>	+	+	+	+
<i>Thymus bashkiriensis</i>	+	+	+	+
<i>Thymus paucifolius</i>			+	
<i>Thymus talijevii</i>	+	+	+	
<i>Thymus uralensis</i>	+			
Южноуральские эндемики / Endemics of the South Ural region				
<i>Elymus uralensis</i>	+	+		+
<i>Festuca igoschiniae</i>			+	
<i>Lathyrus litvinovii</i>	+	+	+	+
<i>Thymus mugodzharcus</i>		+		+

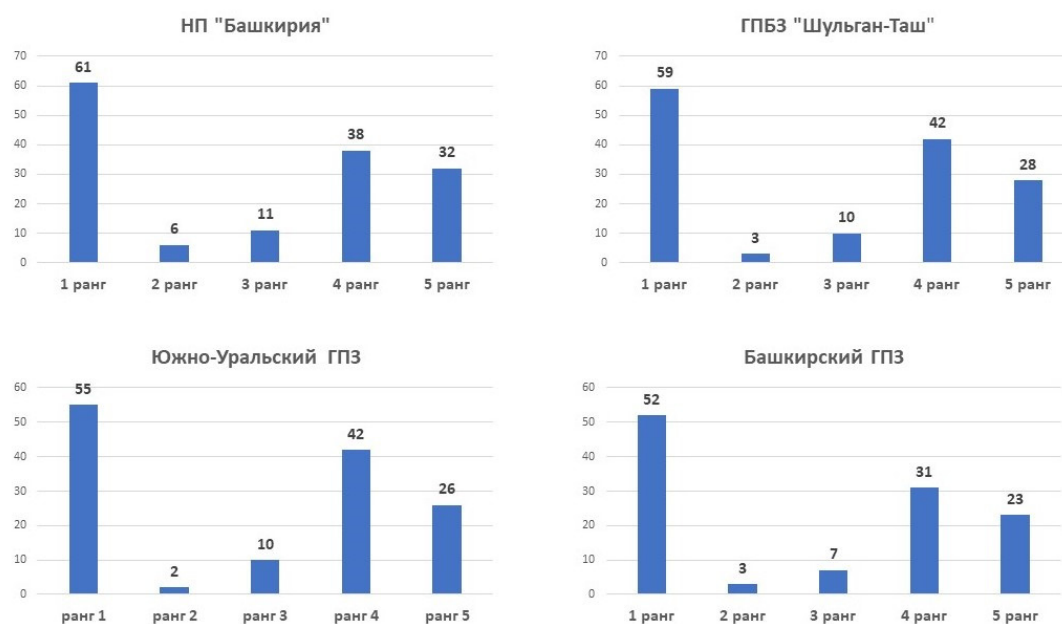


Рис. 3. Распределение видов ДРКР по группам хозяйственной значимости

Fig. 3. Distribution of CWR species according to their economic value categories

Таблица 6. Виды ДРКР, включенные в региональную Красную книгу (2011), на исследованных ООПТ**Table 6.** CWR species in the surveyed protected areas, included in the regional Red Book (2011)

Вид и его охранный статус / Species and its conservation status	НП «Башкирия» / Bashkiria National Park	ГПБЗ «Шульган- Таш» / Shulgan- Tash Biosphere Nature Reserve	Южно- Уральский ГПЗ / South-Ural Nature Reserve	Башкирский ГПЗ / Bashkir Nature Reserve
<i>Allium obliquum</i> (3)	+	+	+	+
<i>Crambe tataria</i> (2)	+			
<i>Linum uralense</i> (3)	+			
<i>Melilotoides platycarpus</i> (3)		+		
<i>Oxycoccus microcarpus</i> (3)			+	
<i>Rubus arcticus</i> (3)			+	
<i>Rubus humulifolius</i> (3)			+	

В НП «Башкирия» произрастают степные виды *Crambe tataria* и *Linum uralense* Juz., находки которых в основном связаны с территорией Башкирского Предуралья. Бореальные виды сфагновых болот и заболоченных лесов (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Rubus arcticus*, *R. humulifolius*) сохраняются в Южно-Уральском ГПЗ.

Заключение

Выполненные исследования показали, что из 259 видов ДРКР, произрастающих в Башкортостане, на территории заповедников и национального парка встречаются 186 видов, то есть около 72% ДРКР. Положение исследованных ООПТ на Южном Урале определяет высокое число эндемичных видов ДРКР, а также видов на границе ареала, что делает данные территории крайне интересными с точки зрения изучения генетического разнообразия краевых популяций видов. Редкие виды ДРКР, в числе семи, сохраняются на всех исследованных ООПТ, но максимально представлены в Южно-Уральском ГПЗ (четыре вида), только один вид – *Allium obliquum* – охраняется на территориях всех четырех ООПТ.

Проведенный анализ позволил выявить виды, требующие особого внимания и представляющие интерес для последующих популяционно-генетических исследований.

1. В целях мониторинга популяций редких видов ДРКР необходимо уточнить местонахождения, а также оценить состояние популяций: в НП «Башкирия» – для *Allium obliquum*, *Crambe tataria* и *Linum uralense*; в ГПБЗ «Шульган-Таш» – для *A. obliquum* и *Melilotoides platycarpus*; в Южно-Уральском ГПЗ – для *A. obliquum*, *Oxycoccus microcarpus*, *Rubus arcticus* и *R. humulifolius*; в Башкирском ГПЗ – для *A. obliquum*.

2. Для последующих популяционно-генетических исследований могут быть рекомендованы (Brezhnev, Korovina, 1981):

– плодовые растения, перспективные для селекции засухоустойчивых и морозостойких сортов: *Amygdalus nana*, *Cerasus fruticosa*;

– виды луков, обладающие генами устойчивости к ложной мучнистой росе (*Allium rubens*, *A. schoenoprasum*) и перспективные для культивирования в регионе (*A. obliquum*);

– местные виды чин, характеризующиеся высоким содержанием белка и урожаем зеленой массы, а также засухоустойчивостью (Buravtzeva et al., 2014): *Lathyrus gmelinii*, *L. litvinovii*, *L. sylvestris*.

References / Литература

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. 2008. [in Russian] (Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения / под ред. А.Н. Афонина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. [Интернет-версия 2.0]. 2008). URL: <http://www.agroatlas.ru> [дата обращения: 27.01.2022].
- Brezhnev D.D., Korovina O.N. Crop wild relatives in the USSR flora (Dikiye sorodichi kulturnykh rasteniy flory SSSR). Leningrad: Kolos; 1981. [in Russian] (Брежнев Д.Д., Корovina О.Н. Дикие сородичи культурных растений флоры СССР. Ленинград: Колос; 1981).
- Buravtzeva T.V., Malyshev L.L., Chapurin V.F. Genetic resources of forage crops and grain legumes of Southern and Central Ural. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2014;175(1):26-39. [in Russian] (Буравцева Т.В., Малышев Л.Л., Чапурин В.Ф. Генетические ресурсы кормовых и зернобобовых культур Южного и Центрального Урала. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2014;175(1):26-39).
- Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (within the former USSR boundaries) (Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv [v predelakh byvshego SSSR]). St. Petersburg: Mir i Semya; 1995. [in Russian] (Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья; 1995).
- Chukhina I., Shipilina L., Bagmet L., Talovina G., Smekalova T. Results of studying wild relatives of the cultivated plants of Russia. *Biological Communications*. 2020;65(1):41-52. DOI: 10.21638/spbu03.2020.104
- Fedorov A.A. (ed.). Flora of the European part of the USSR. Vol. 6 (Flora evropeyskoy chasti SSSR. T. 6). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Флора европейской части

- СССР. Т. 6 / под ред. А.А. Федорова. Ленинград: Наука; 1987).
- Kamelin R.V. Most important features of vascular plants and floristic zoning of Russia (Vazhneyshiye osobennosti sosudistyykh rasteniy i floristicheskoye rayonirovaniye Rossii). In: *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. November 26–28, 2002 Barnaul, Russia*. Barnaul: Azbuka; 2002. p.36–41. [in Russian] (Камелин Р.В. Важнейшие особенности сосудистых растений и флористическое районирование России. В кн.: *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы I Международной научно-практической конференции, 26–28 ноября 2002 г., Барнаул, Россия*. Барнаул: Azbuka; 2002. С.36–41).
- Kucherov E.V., Muldashev A.A. (eds). Guide to higher plants of the Bashkir ASSR. *Brassicaceae–Asteraceae* families (Opredelitel vysshyykh rastebiy Bashkirskoy ASSR. Semeystva *Brassicaceae–Asteraceae*). Moscow: Nauka; 1989. [in Russian] (Определитель растений Башкирской АССР. Семейства *Brassicaceae–Asteraceae* / под ред. Е.В. Кучерова, А.А. Мулдашева. Москва: Наука; 1989).
- Kucherov E.V., Muldashev A.A. (eds). Guide to higher plants of the Bashkir ASSR. *Onocleaceae–Fumariaceae* families (Opredelitel vysshyykh rasteniy Bashkirskoy ASSR. Semeystva *Onocleaceae–Fumariaceae*). Moscow: Nauka; 1988. [in Russian] (Определитель растений Башкирской АССР. Семейства *Onocleaceae–Fumariaceae* / под ред. Е.В. Кучерова, А.А. Мулдашева. Москва: Наука; 1988).
- Kulikov P.V. Conspectus of the flora of Chelyabinsk Province (vascular plants) (Konspekt flory Chelyabinskoy oblasti [sosudistyye rasteniya]). Yekaterinburg: Geotur; 2005. [in Russian] (Куликов П.В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистые растения). Екатеринбург: Геотур; 2005).
- Martynenko V.B. (ed.). Red Book of the Republic of Bashkortostan. Vol 1 (Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan. T 1). Moscow: Studio online; 2021. [in Russian] (Красная книга Республики Башкортостан. Т. 1. / под ред. В.Б. Мартыненко. Москва: Студия онлайн; 2021).
- Martynenko V.B., Solomeshch A.I., Zhirnova T.V. Forests of the Bashkir State Nature Reserve: syntaxonomy and environmental significance (Lesy Bashkirskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika: sintaksonomiya i prirodookhrannaya znachimost). Ufa: Gilem; 2003. [in Russian] (Мартыненко В.Б., Соломещ А.И., Жирнова Т.В. Леса Башкирского государственного природного заповедника: синтаксономия и природоохранная значимость. Уфа: Гилем; 2003).
- Martynenko V.B., Yamalov S.M., Zhigunov O.Y., Filinov A.A. Vegetation of the Shulgan-Tash State Nature Reserve (Rastitelnost gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika Shulgan-Tash). Ufa: Gilem; 2005. [in Russian] (Мартыненко В.Б., Ямалов С.М., Жигунов О.Ю., Филинов А.А. Растительность государственного природного заповедника «Шульган-Таш». Уфа: Гилем; 2005).
- Miftakhova S.R., Abramova L.M. Crop wild relatives of Bashkortostan Republic. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2014;8(3):63–80. [in Russian] (Мифтахова С.Р., Абрамова Л.М. Дикие родичи культурных растений Республики Башкортостан. *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2014; 8(3):63–80).
- Mirkin B.M. (ed.). Flora and vegetation of the Bashkiria National Park (Flora i rastitelnost natsionalnogo parka Bashkiriya). Ufa: Gilem; 2010. [in Russian] (Флора и растительность национального парка «Башкирия» / под ред. Б.М. Миркина. Уфа: Гилем; 2010).
- Mirkin B.M. (ed.). Flora and vegetation of the South-Ural State Nature Reserve (Flora i rastitelnost Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika). Ufa: Gilem; 2008. [in Russian] (Флора и растительность Южно-Уральского государственного природного заповедника / под ред. Б.М. Миркина. Уфа: Гилем; 2008).
- Smekalova T.N., Chukhina I.G. (comp.) Catalogue of the VIR global collection. Issue 766. Crop wild relatives of Russia (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 766, Dikiye rodichi kulturnykh rasteniy Rossii). St. Petersburg: VIR; 2005. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 766. Дикие родичи культурных растений России / сост. Т.Н. Смекалова, И.Г. Чухина. Санкт-Петербург: ВИР; 2005).
- Tolmachev A.I. Methods of comparative floristics (Metody sravnitel'noy floristiki). Novosibirsk: Nauka, 1986. [in Russian] (Толмачев А.И. Методы сравнительной флористики. Новосибирск: Наука; 1986).

Информация об авторах

Снежана Ринатовна Мифтахова, кандидат биологических наук, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, s.miftahova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9579-8646>

Лариса Михайловна Абрамова, доктор биологических наук, заведующая лабораторией, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт, 450080 Россия, Уфа, ул. Менделеева, 195, корпус 3, abramova.lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3196-2080>

Наиля Марксовна Сайфуллина, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе, Государственный природный биосферный заповедник «Шульган-Таш», 453585 Россия, Республика Башкортостан, Бурзянский район, д. Иргизлы, ул. Заповедная, 14, karova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7497-3559>

Оксана Васильевна Юсупова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный природный заповедник, 453560 Россия, Республика Башкортостан, Белорецкий район, п/о Инзер, п. Реветь, yusupova.ov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7202-2944>

Information about the authors

Snezhana R. Miftakhova, Cand. Sci. (Biology), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, s.miftahova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9579-8646>

Larisa M. Abramova, Dr. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute, 195, Bldg. 3, Mendeleeva St., Ufa 450080, Russia, abramova.lm@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3196-2080>

Nailya M. Saifullina, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Research, Shulgan-Tash Biosphere Nature Reserve, 14 Zapovednaya St., Irgizly, Burzyansky District, Republic of Bashkortostan 453585, Russia, kapova@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7497-3559>

Oksana V. Yusupova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, South-Ural Nature Reserve, Revet Settlement, Inzer, Beloretsky District, Republic of Bashkortostan 453560, Russia, yusupova.ov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7202-2944>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.12.2021; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 13.12.2021; approved after reviewing on 23.03.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Научная статья
УДК 582.572.225:581.4
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-192-207



Коллекция рода *Allium* L. Южно-Уральского ботанического сада-института

Л. А. Тухватуллина, Л. М. Абрамова

Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Южно-Уральский ботанический сад-институт, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лариса Михайловна Абрамова, abramova.lm@mail.ru

В статье приводятся результаты интродукции в Южно-Уральском ботаническом саду-институте (г. Уфа) дикорастущих видов, форм и сортов рода *Allium* L., известного многими полезными растениями – пищевыми, лекарственными, декоративными, а также редкими видами, нуждающимися в охране. В коллекции представлено 111 таксонов: 92 вида, ряд образцов, сортов и форм лука. В коллекции 7 видов, включенных в Красную книгу Республики Башкортостан, 35 редких видов других регионов бывшего СССР, 2 редких вида из Красной книги РФ, 19 эндемичных видов.

На базе коллекции проводятся исследования биологических особенностей, хозяйственно полезных и декоративных качеств, размножения, культивирования *in vitro* и т. д. Изучается биохимический состав интродуцентов. Особое значение придается культивированию редких луков как одному из методов сохранения их биоразнообразия – на этой основе возможна реинтродукция их в природные местообитания. Большинство интродуцированных в Башкирском Предуралье луков (65 видов, 78 таксонов в целом) устойчивы в культуре, обладают ценными пищевыми и/или декоративными качествами, что позволяет рекомендовать их к широкому использованию в качестве огородной культуры и в фитодизайне.

Ключевые слова: таксон, интродукция, редкие виды, эндемики, устойчивость

Благодарности: работа выполнена по теме ЮУБСИ УФИЦ РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-03-2022-001 от 14.01.2022 г. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Коллекция рода *Allium* L. Южно-Уральского ботанического сада-института. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):192-207. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-192-207

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-192-207

The collection of *Allium* L. at the South-Ural Botanical Garden–Institute

Lenvera A. Tukhvatullina, Larisa M. Abramova*Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden–Institute, Ufa, Russia***Corresponding author:** Larisa M. Abramova, abramova.lm@mail.ru

The article presents the results of introducing wild species, forms and varieties of *Allium* L. in the South-Ural Botanical Garden–Institute, Ufa. This genus is known for many useful plants – edible, medicinal and ornamental – and for its rare species requiring protection. The collection contains 111 taxa: 92 species, plus a number of onion cultivars and forms. It includes 7 species listed in the Red Book of Bashkortostan, 35 rare species from other regions of the ex-USSR, 2 rare species from the Red Book of the Russian Federation, and 19 endemic species.

The collection serves as the basis for studying biological characteristics, agronomic and ornamental traits, reproduction and *in vitro* cultivation features, etc. Biochemical composition of introduced genotypes is also analyzed. Special attention is paid to the cultivation of rare onions as one of the methods of preserving their biodiversity – their reintroduction into natural habitats is possible on this basis. Most of onions introduced into the Bashkir Cis-Urals (65 species, 78 taxa in total) are stable in cultivation and possess valuable food and/or ornamental qualities, which makes it possible to recommend them for wider use in gardening and phytodesign.

Keywords: taxa, introduction, rare species, endemics, stability

Acknowledgments: the work was carried out on the theme of the South-Ural Botanical Garden–Institute, UFRC RAS: “Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: assessment and monitoring of dynamics, problems of conservation, reproduction, increase, and rational utilization”, within the framework of the state task of the Ufa Federal Research Center of the RAS, No. 075-03-2022-001 of January 14, 2022.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Tukhvatullina L.A., Abramova L.M. The collection of *Allium* L. at the South-Ural Botanical Garden–Institute. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):192-207. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-192-207

Введение

Род *Allium* L. (лук) – один из крупных родов сосудистых растений Северного полушария. В соответствии с современной таксономической системой классификации цветковых растений он рассматривается в семействе Amaryllidaceae J. St.-Hil. и насчитывает около 1000 видов (Seregin et al., 2015; Govaerts et al., 2005). Почти треть видов произрастает в горной Средней Азии – крупнейшем мировом центре разнообразия луков. Только в горах Тянь-Шаня, отличающихся высоким уровнем эндемизма, в число 16 крупнейших родов включен род *Allium* с 56 тянь-шаньскими эндемиками (Tojibaev et al., 2020; Gemejiyeva et al., 2021).

Интродукция видов рода *Allium* L., известного многими полезными растениями – пищевыми, лекарственными, декоративными и кормовыми, а также редкими видами, нуждающимися в охране, актуальна также в связи с принадлежностью видов этого рода к диким родичам культурных растений (Smekalova, Chukhina, 2005; Miftakhova, Abramova, 2014). Изучение биологии, ресурсных качеств, размножения позволяет рекомендовать наиболее устойчивые дикие виды в культуру, а также для использования в селекционных целях. Живые коллекции представителей рода *Allium* в настоящее время немногочисленны: они представлены в некоторых ботанических садах России и других государств (Smolynskaya, 2010; Alibegova, Musayev, 2011; Volkova et al., 2012; Buko, Rodnova, 2014; Fomina, 2020; Makhmudov, 2020; etc.).

В Южно-Уральском ботаническом саду коллекция луков была заложена в 1987 г. Пополнение коллекции проходило в течение всего периода из разных ботанических садов РФ и из-за рубежа, а также из естественных местобитаний Республики Башкортостан, во флоре которой произрастают 16 видов рода *Allium*, причем около половины – редкие.

Цель наших исследований – изучение биологических и биохимических особенностей интродуцированных луков, оценка устойчивости и перспективности их культивирования в условиях Южного Урала.

Материалы и методы

Южно-Уральский ботанический сад-институт расположен в г. Уфа, в лесостепной зоне Башкирского Предуралья, на водоразделе рек Уфа и Белая. Экспозиционный участок рода *Allium* (500 м²) находится в центральной части сада. Почвенный покров представлен серыми лесными почвами. Среднегодовая температура воздуха в г. Уфе – +2,6°C, количество осадков – 459 мм, в летний период – 50–70 мм. Безморозный период продолжается 144 дня.

Растения в коллекции высажены на делянках 1,5 м² квадратно-гнездовым способом через 15–35 см в количестве 10–30 и более растений каждого вида; некоторые виды представлены единичными экземплярами.

В настоящее время род *Allium* в коллекционном фонде включает 111 таксонов: 92 вида, ряд образцов и форм лука. В коллекции 7 видов, включенных в Красную книгу Республики Башкортостан (Red Book..., 2021), 35 редких и 20 эндемичных видов других регионов, включая Среднюю Азию и Кавказ, 2 редких вида Красной книги РФ (Red Book..., 2008).

Названия видов луков приведены согласно сайту International Plant Name Index (IPNI, <https://www.ipni.org/>). По каждому интродуцированному таксону приведены

сведения о происхождении образца, форме или виде лука, распространении в природе, редкости, числе экземпляров, представленных в коллекции. Биохимический анализ некоторых видов лука выполнен в Центре агрохимической службы «Башкирский» по общепринятым методикам (Razumov, 1982; Ermakov et al., 1972). Определяли содержание аскорбиновой кислоты, каротина, протеина, сахаров и других биологически активных веществ. Оценку устойчивости в культуре осуществляли по 3-балльной шкале (Bylov, Karpisonova, 1978), учитывали зимостойкость, устойчивость к неблагоприятным метеорологическим условиям, вредителям и болезням (Methodological guidelines..., 1979). Оценивали также способность к семенному и вегетативному размножению и ресурсные качества – пищевое или декоративное растение. Для видов, недавно появившихся в коллекции, в графе устойчивости в культуре писали – «нет данных».

Результаты и обсуждение

Характеристика таксонов коллекции рода *Allium* ЮУБСИ УФИЦ РАН и результаты многолетних интродукционных исследований приведены в таблице. В коллекции более 50 видов лука, произрастающих в Средней Азии, среди которых 19 эндемичных; 16 видов флоры Республики Башкортостан, представлены все редкие виды Республики Башкортостан.

Изучение биологии редких видов как Башкортостана, так и других регионов проводилось в течение всего периода интродукционного испытания, в последние годы особенно активно (Tukhvatullina, 2015, 2016). Отдельно следует отметить исследования, посвященные редким видам Красной книги РФ (Red Book..., 2008) – *Allium grande* и *A. nerinifolium* (Tukhvatullina, Abramova, 2018, 2020).

Кроме того, изучался биохимический состав ряда интродуцированных луков. В листьях луков в период весеннего отрастания выявлено 31,4–272,3 мг/%, аскорбиновой кислоты. Максимальное содержание витамина С отмечено у местного вида *A. flavescens* – 272,3 мг/%, у *A. oreophilum* – 116,8 мг/%, *A. strictum* – 105,7 мг/%, *A. nutans* – 92,4 мг/%. По содержанию каротина сравнительно высоким накоплением отличается также местный вид *A. obliquum* – 33,4–36,2 мг/кг, у *A. oreophilum* – 32,6 мг/кг. У остальных видов оно колеблется от 16,9 до 29,3 мг/кг на абсолютно сухой вес. В листьях исследуемых луков выявлено большое количество сахаров, протеина и несколько меньше жира и азота. Больше сахара содержит *A. nutans* – 21,5–24,1%, у остальных видов содержание сахара колеблется от 11 до 20,6%. Содержание протеина у исследуемых луков колеблется от 15,19 до 23,63%, жира – 3,99–6,09%, азота – 2,43–3,78% на абсолютно сухой вес (Tukhvatullina, Abramova, 2012, 2016).

Исследовали также хозяйственно полезные и декоративные качества луков (Tukhvatullina, 2017) и другие биологические особенности. Изучение биологии и размножения луков коллекции, их зимостойкости, повреждаемости вредителями и болезнями позволило оценить устойчивость и перспективность таксонов для культивирования в регионе Южного Урала.

По результатам многолетних интродукционных испытаний определено, что большинство таксонов коллекции устойчивы в культуре (включая 65 видов, 78 таксонов в целом), относительно устойчивы – 18 видов, неустойчивы такие виды, как *A. beesianum*, *A. bidentatum*, *A. delicatulum*, *A. galanthum*, *A. inaequale*, *A. macleanii*, *A. por-*

Таблица. Коллекционный фонд таксонов рода *Allium* L. Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН
Table. *Allium* L. collection holdings at the South-Ural Botanical Garden-Institute, UFRS RAS

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
1. <i>A. aflatumense</i> B. Fedtsch. (Лук афлагунский)	Йошкар-Ола, 1995	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия: Тянь-Шань	много	3	2, 3	1
2. <i>A. aflatumense</i> 'Purple Sensation' (Лук афлагунский 'Purple Sensation')	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014			много	3	2, 3	1
3. <i>A. albidum</i> Fisch. (Лук беловатый)	ЦСБС, Новосибирск, 1987	Редкий вид Красnodарского края	Кавказ, Иран	много	2	2, 3, 4	1, 2
4. <i>A. altaicum</i> Pall. (Лук алтайский)	ЦСБС, Новосибирск, 1987	Редкий вид Сибири и Алтая	Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	2
5. <i>A. altissimum</i> Regel (Лук высочайший)	БИН, Санкт-Петербург, 1992	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3	1
6. <i>A. altupolicum</i> N. Friesen (Лук алтынкольский)	Германия, 2006	Алтай, эндемик	Западная Сибирь	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
7. <i>A. atropurpureum</i> L. (Лук виноградный)	Германия, 2017		Европа, Средняя Азия	5	1	2, 3	1, 2
8. <i>A. atropurpureum</i> Torr. (Лук охватывающий)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014		США, Канада	15	3	3	1
9. <i>A. angulosum</i> L. (Лук угловатый)	Башкирия, ест. флора, 2003	Редкий вид Республики Коми	Восточная Европа, Сибирь, Казахстан	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
10. <i>A. ascalonicum</i> L. (Лук аскалонский)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 1998; Казахстан, 2017		Восточная Европа	много	3	1, 2, 3, 4	2
11. <i>A. atropurpureum</i> Waldst. et Kit. (Лук темно-пурпурный)	Польша, 2015		Европа	много	3	2	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
12. <i>A. atroviolescent</i> Boiss. (Лук черно-фиолетовый)	Ботсад, Краснодар, 2002		Кавказ, Средняя Азия, Иран	много	3	2, 3	1
13. <i>A. auctum</i> Omelczuk (Лук увеличенный)	Ботсад МГУ, Москва, 2005	Средняя Азия, эндемик	Кавказ, Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	2, 3	1
14. <i>A. backhousianum</i> Regel (Лук Баххауза)	Ботсад, Тарту, Эстония, 2011	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	12	3	2	1
15. <i>A. barszewskii</i> Lipsky (Лук Барщевского)	Ботсад, Киров, 2018	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	20	3	2, 3	1
16. <i>A. beesianum</i> (Лук Биса)	Ботсад МГУ, Москва, 2011		Китай	-	выпал	2	1
17. <i>A. bidentatum</i> Fisch. ex Prokh. & Ikonn.-Gal. (Лук двузубчатый)	Иркутск, 2007		Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия	-	выпал	2	1
18. <i>A. saeruleum</i> Pall. (Лук голубой)	Екатеринбург, 1999	Редкий вид Саратовской, Оренбургской обл.	Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	3	1
19. <i>A. saeruleum</i> var. <i>bulbilliferum</i> Ldb. (Лук голубой бульбоносный)	Оренбургская обл., ест. флора, 1992		Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	3, 4	1
20. <i>A. carinatum</i> L. (Лук килеватый)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014		Европа, Западная Сибирь,	много	3	1, 2, 3, 4	1
21. <i>A. carolinianum</i> Redoute (Лук каролинский)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 1993		Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1
22. <i>A. caspium</i> M. Bieb. (Лук каспийский)	Ср. Азия, ест. флора, 2008; Казахстан, 2019	Средняя Азия, эндемик	Кавказ, Средняя Азия	10	2	2	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
23. <i>A. setosum</i> Roth (Лук понижший, или склонный)	Ботсад, Екатеринбург, 2006; Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009; Ботсад МГУ, 2011;		Северная Америка	много	3	2, 3, 4	1
24. <i>A. clathratum</i> Ledeb. (Лук решетчатый)	Алтай, ест. флора		Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия	5	2	3, 4	2
25. <i>A. cristophii</i> Trautv. (Лук Кристофа)	Махачкала, 2014; Чехия, 2013	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3	1
26. <i>A. cyathophorum</i> Bureau et Franch. (Лук бокальцевосный)	Ботсад, МГУ, Москва, 2005; Чехия, 2009	Эндемик	Китай	много	3	2, 3, 4	1
27. <i>A. delicatulum</i> Siev. ex Wild. (Лук привлекающий)	Башкирия, ест. флора, 2007	Редкий вид Республики Башкортостан	Западная Сибирь, Средняя Азия	-	выпал	2	1
28. <i>A. ericetorum</i> Thore (Лук верещатниковый)	Германия, 2017		Европа	много	3	2, 3, 4	1
29. <i>A. flavescens</i> Besser (Лук желтеющий)	Башкирия, ест. флора, 2000	Редкий вид Республики Башкортостан	Восточная Европа, Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1, 2
30. <i>A. flavum</i> L. (Лук желтый)	Йошкар-Ола, 2002		Восточная Европа, Средняя Азия	много	3	2,	1
31. <i>A. fuscoviolaceum</i> Fomin (Лук темно-фиолетовый)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2008		Кавказ, Турция, Иран	много	3	2, 3	1, 2
32. <i>A. galanthum</i> Kar. et Kir. (Лук молочноцветный)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014		Средняя Азия, Китай	-	выпал	2	1, 2
33. <i>A. giganteum</i> Regel (Лук гигантский)	Ср. Азия, ест. флора, 2008	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	10	3	2	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
34. <i>A. globosum</i> M. Bieb. ex Redoute (Лук шаровидный)	Башкирия, ест. флора, 1999, Иркутск, 2007	Редкий вид Республики Татарстан	Кавказ, Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	1
35. <i>A. grande</i> Lipsky (Лук крупный)	Махачкала, 2011; Тарту, 2011	Редкий вид России	Кавказ	20	3	2, 3	1
36. <i>A. hollandicum</i> R.M. Fritsch (Лук голландский)	Ботсад Челябинск, 2013		Средняя Азия, Иран	10	3	2	1
37. <i>A. humenogrizum</i> Ledeb. (Лук плывокорневищный)	Башкирия, ест. флора, 2000	редкий вид Республики Башкортостан	Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1, 2
38. <i>A. inaequale</i> Janka (Лук неравный)	Ср. Азия, ест. флора, 2008		Восточная Европа, Кавказ, Средняя Азия	-	выпал	2	1
39. <i>A. iberiense</i> Fisch. ex Roem et Schult. (Лук иберийский)	Оренбургская обл., 2018	Средняя Азия, эндемик	Восточная Европа, Западная Сибирь, Средняя Азия	5	нет данных	нет данных	нет данных
40. <i>A. insubricum</i> Boiss. et Reut. (Лук инсубрийский)	Каунас, 2014	Эндемик	Италия	15	3	2, 3, 4	нет данных
41. <i>A. karataviense</i> Regel (Лук каратавский)	Чехия, 2008, Рига, 2013	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	15	3	2	1
42. <i>A. karelinii</i> Poljakov (Лук Карелина)	МГУ, 2014		Средняя Азия, Китай	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
43. <i>A. komarovianum</i> Vved. (Лук Комаровский)	Йошкар-Ола, 2002	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1, 2
44. <i>A. kunthianum</i> Vved. (Лук Кунта)	Санкт-Петербург, 2010; Германия, 2018	Эндемик Кавказа	Кавказ	5	2	2	1
45. <i>A. ledebourianum</i> Schult. et Schult. (Лук Ледебера)	ЦСБС, Новосибирск, 1987	Редкий вид Республики Алтай	Западная Сибирь,	много	3		1, 2

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
46. <i>A. libani</i> Boiss. (Лук ливанский)	Чехия, Брно, 1999		Средиземноморье	много	3	2, 3, 4	1, 2
47. <i>A. lineare</i> L. (Лук линейный)	Башкирия, ест. флора, 2000		Восточная Европа, Западная Сибирь, Средняя Азия	много	2	2, 3, 4	1, 2
48. <i>A. longicaulis</i> Regel (Лук длинноостроконечный)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	3, 4	2
49. <i>A. lusitanicum</i> Lam. (Лук лузитанский)	Польша, 2015		Европа	много	3	2, 3, 4	1
50. <i>A. taackii</i> (Maxim.) Prokh. (Лук Маака)	Самара, 2006; Венгрия, 2011	Редкий вид Якутии	Восточная Сибирь, Дальний Восток	много	3	2, 3, 4	1, 2
51. <i>A. taschianii</i> Baker (Лук Маклейна)	Германия, 2017		Средняя, Центральная, и Южная Азия	-	выпал	нет данных	нет данных
52. <i>A. marginatum</i> Janka (Лук окаймленный)	Венгрия, 2011		Европа	много	3	2, 3, 4	1, 2
53. <i>A. microdictyon</i> Prokh. (Лук мелкосетчатый)	Башкирия, 2007, 2016	Редкий вид Республики Башкортостан	Восточная Европа, Западная и Восточная Сибирь	15	2	2, 3, 4	1, 2
54. <i>A. toly</i> L. (Лук Моли, Лук золотой)	Йошкар-Ола, 1995		Юж. Европа	много	3	3	1
55. <i>A. montanum</i> F.W. Schmidt (Лук горный)	Самара, 1999	Редкий вид Зап. Украины	Восточная Европа	много	3	2, 3, 4	1, 2
56. <i>A. parvifolium</i> Lam. (Лук нарциссолистный)	Йошкар-Ола, 2002; Каунас, 2012		Европа, Сибирь, Казахстан, Китай	много	3	2, 3, 4	1, 2
57. <i>A. perfoliatum</i> Baker (Лук нереидолистный)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009	Редкий вид России	Восточная Сибирь	20	2	2	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
58. <i>A. nigrum</i> L. (Лук черный)	Германия, 2017		Средиземноморье	20	нет данных	нет данных	нет данных
59. <i>A. nutans</i> L. (Лук поникающий, слизун)	ЦСБС, Новосибирск, 1987; Башкирия, ест. флора, 1995	Редкий вид Республики Башкортостан	Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
60. <i>A. nutans</i> L. f. <i>angustifolia</i> (Лук слизун узколистная форма)	ЦСБС, Новосибирск		Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
61. <i>A. nutans</i> 'Симбир' (Лук слизун 'Симбир')	Агрофирма «Поиск», 2014			10	3	1, 2, 3, 4	1, 2
62. <i>A. obliquum</i> L. (Лук косой)	ЦСБС, Новосибирск РБ	Редкий вид Республики Башкортостан	Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
63. <i>A. ochotense</i> Prokh. (Лук охотский)	Иркутск, 2007; Сыктывкар, 2009		Дальний Восток	15	3	2, 3, 4	1, 2
64. <i>A. oleraceum</i> L. (Лук огородный)	Башкирия, ест. флора, 2005		Европа	много	3	3	1
65. <i>A. oliganthum</i> Karet Kir. (Лук малоцветный)	Ботсад МГУ Москва, 2014		Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1
66. <i>A. oregonicum</i> C.A. Mey. (Лук горолюбивый)	Италия, 2011	Средняя Азия, эндемик	Кавказ, Средняя Азия	15	2	2	1
67. <i>A. raszkianum</i> Tuzson (Лук Пасчоского)	Сыктывкар	Редкий вид Саратовской обл.	Восточная Европа, Кавказ	много	3	2, 3	1
68. <i>A. paniculatum</i> L. (Лук метельчатый)	ЦСБС, Новосибирск		Европа, Средняя Азия	много	2	2, 3, 4	1
69. <i>A. platycaule</i> S.Watson (Лук широколистный)	Эстония, Тарту, 2011		США	много	3	2, 3	1
70. <i>A. polyphyllum</i> Kar. et Kir. (Лук многолистный)	Сыктывкар, 2009		Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
71. <i>A. rogitum</i> L. (Лук порей)	Сыктывкар, 2009		Передняя Азия	-	выпал	2	1, 2
72. <i>A. praescissum</i> Rchb. (Лук предвиденный)	Башкирия, ест. флора, 2008, 2009	Редкий вид Республики Башкортостан	Восточная Европа, Западная Сибирь	много	2	2	1
73. <i>A. proliferum</i> (Moench) Schrad.ex Willd. (Лук многоярусный)	Башкирия, Бирск, дендрарий, 1999		Средняя Азия, Китай	много	3	3, 4	2
74. <i>A. pskemense</i> B. Fedtsch. (Лук пскемский)	Ботсад МГУ, Москва, 2011; ботсад Тарту, 2012	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1, 2
75. <i>A. pulhellum</i> G. Don (Лук хорошенский)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014		Восточная Европа, Кавказ	много	3	2, 3	1
76. <i>A. ramosum</i> L. (Лук ветвистый, или душистый)	ЦСБС, Новосибирск, 1987; Германия, 2009; Рига, 2010		Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия	много	2	2, 3, 4	1, 2
77. <i>A. rosenbachianum</i> Regel (Лук Розенбаха)	Ботсад Ставрополь, 2001	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3	1, 2
78. <i>A. rotundum</i> subsp. <i>jajlae</i> (Vved.) B. Mathew (Лук яйлинский)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2008		Крым, Кавказ	много	3	2, 3	1
79. <i>A. rubellum</i> M. Bieb. (Лук красненький)	Германия, 2017		Кавказ, Средняя Азия	много	2	2, 3, 4	1
80. <i>A. rubens</i> Schrad. ex Willd. (Лук красноватый)	Башкирия, ест. флора, 2002, 2004, 2014		Сибирь, Южный Урал, Казахстан	10	1	2, 3, 4	1, 2
81. <i>A. rubens</i> Schrad. ex Willd. f. <i>alba</i> (Лук красноватый форма белая)	Башкирия, ест. флора, 2006			-	выпал	Нет данных	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
82. <i>A. riprestre</i> Steven (Лук скальный)	Венгрия, 2011		Северный, Южный Кавказ	много	3	2, 3, 4	1
83. <i>A. sagawschanicum</i> Regel (Лук зарафшанский)	Средняя Азия, ест. флора, 2008	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	2	2	1, 2
84. <i>A. saxatile</i> M. Bieb. (Лук наскальный, или скаловый)	Ботсад, Екатеринбург, 2006; Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009	Редкий вид Красnodарского края	Южная Европа, Кавказ, Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1
85. <i>A. schoenoprasum</i> L. (Лук скорода, или резанец)	ЦСБС, Новосибирск, 1987		Восточная Европа, Кавказ Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
86. <i>A. schoenoprasum</i> var. <i>major</i> (Лук скорода, или резанец, большой)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2008			много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
87. <i>A. schoenoprasum</i> var. <i>reper</i> <i>rosa</i> (Лук скорода, или резанец, темно-розовый)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014			много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
88. <i>A. schoenoprasum</i> var. <i>roseum</i> (Лук скорода, или резанец, розовый)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014			много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
89. <i>A. schoenoprasum</i> 'Prazska Krajova' (Лук скорода, или резанец, 'Prazska Krajova')	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2003			много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
90. <i>A. schoenoprasum</i> 'Shining White' (Лук скорода, или резанец, 'Shining White')	Рига, 2018			много	3	2, 3, 4	1

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
91. <i>A. schoenoprasum</i> 'Медонос' (Лук скорода, или резанец, 'Медонос')	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2014			много	3	1, 2, 3, 4	1, 2
92. <i>A. schubertii</i> Zucc. (Лук Шуберта)	Агрофирма «Гавриш», Москва, 2011	Редкий вид	Средняя Азия	5	1	2	1
93. <i>A. scorodoprasum</i> L. (Лук причесочный, или рокамболь)	Ботсад Екатеринбург, 2006; Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009		Средняя Азия	много	3	3	2
94. <i>A. setepowii</i> Regel (Лук Семенова)	Германия, 2017		Средняя Азия	много	3	2, 3, 4	1
95. <i>A. senescens</i> L. (Лук стареющий)	Венгрия, 2011; Киров, 2018		Европа, Сибирь	много	2	2, 3, 4	1, 2
96. <i>A. setifolium</i> Schrenk (Лук щетинолистный)	Ботсад МГУ, Москва, 2011		Средняя Азия	много	3	1, 2, 3, 4	1
97. <i>A. sphaerocarpum</i> L. (Лук шароголовый, или круглоголовый)	Ботсад, Краснодар, 2000		Европа, Кавказ, Северная Африка, Зап. Азия	много	3	2, 3	1
98. <i>A. splendens</i> Willd. ex Schult. fil. (Лук блестящий)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009		Восточная Сибирь, Дальний Восток	5	1	2, 3	1, 2
99. <i>A. stellerianum</i> Willd. (Лук Стеллера)	Ботсад Иркутск, 2007		Восточная Сибирь, Монголия	много	2	2, 3, 4	1, 2
100. <i>A. stipitatum</i> Regel (Лук стебельчатый)	Йошкар-Ола, 1995	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3	1, 2
101. <i>A. strictum</i> Schrad. (Лук прямой, или торчащий)	Башкирия ест. флора, 2005; Алтай ест. флора, 2006		Европа, Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия, Дальний Восток	много	2	2, 3, 4	1, 2

Таблица. Окончание
Table. The end

Вид	Происхождение материала, год	Редкость	Распространение в природе	Количество особей	Устойчивость в культуре*	Способы размножения**	Ресурсное использование***
102. <i>A. suaveolens</i> Jacq. (Лук пахучий)	Германия, 2017		Европа	много	3	2	нет данных
103. <i>A. sinuogrowi</i> Regel (Лук Суворова)	Италия, 1997	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	много	3	2, 3	1
104. <i>A. tenuicaule</i> Regel (Лук тонкостебельный)	Ср. Азия ест. флора, 2008	Средняя Азия, эндемик	Средняя Азия	5	2	2, 3	1
105. <i>A. tuberosum</i> Rottler ex Spreng. (Лук клубеньковый)	Венгрия, 2011; Чехия, 2009		Китай, Япония, Пакистан	много	2	2, 3, 4	1, 2
106. <i>A. tulipifolium</i> Ledeb. (Лук тюльпанолистный)	Башкирия, ест. флора, 2007		Восточная Европа, Западная Сибирь, Средняя Азия	много	3	2	1
107. <i>A. ursinum</i> L. (Лук медвежий)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2009; ВИЛАР, 2015	Редкий вид Московской, Белгородской обл.	Восточная Европа, Кавказ	много	3	2, 3	1, 2
108. <i>A. vavilovii</i> Popov et Vved. (Лук Вавилова)	ЦСБС, Новосибирск, 2006		Средняя Азия	много	2	2, 3, 4	1, 2
109. <i>A. victorialis</i> L. (Лук победный)	Ботсад Коми НЦ, Сыктывкар, 2008; ВИЛАР, 2015		Восточная Европа, Сибирь, Кавказ	много	3	2, 3, 4	1, 2
110. <i>A. vineale</i> L. (Лук виноградинный)	Бельгия, 1989		Восточная Европа, Кавказ	–	выпал	нет данных	нет данных
111. <i>A. winklerianum</i> Regel (Лук Винклера)	Каунас, 2014		Средняя Азия	много	3	2	1

Примечание: * Устойчивость в культуре: 1 – периодически выпадает; 2 – относительно устойчив, 3 – устойчив

** Способы размножения: 1 – самосев, 2 – возобновляется искусственно семенами, 3 – вегетативное естественное, 4 – вегетативное искусственное

*** Ресурсное использование: 1 – декоративное, 2 – пищевое

Note: * Stability in cultivation: 1 – periodically falls out; 2 – relatively stable, 3 – stable.

** Methods of reproduction: 1 – self-seeding, 2 – renewed artificially by seeds, 3 – natural vegetative, 4 – artificially vegetative.

*** Resource utilization: 1 – ornamental, 2 – food

rum, *A. vineale*, еще 4 вида периодически выпадают: *A. ampeloprasum*, *A. rubens*, *A. splendens*, *A. schubertii* – и их нужно возобновлять искусственно. Эти виды отличаются минимальными баллами по оценочным показателям устойчивости; наиболее уязвимая сторона связана с перезимовкой: ежегодно весной выпревает около половины из имеющихся особей, и в результате на 2-3-й год таксон выпадает из коллекции.

Способы размножения луков коллекции – как семенами, так и вегетативно. Многие виды, такие как *A. altynolicum*, *A. angulosum*, *A. globosum*, *A. komarovianum*, *A. montanum*, *A. narcissifolium* и др., размножаются и семенным, и вегетативным путем. Самосев образуют 17 видов коллекции.

Большинство интродуцированных луков коллекции обладают ценными пищевыми и декоративными качествами, что позволяет рекомендовать их для более широкого использования как в качестве огородной культуры, так и в фитодизайне. Интродукционный опыт показывает, что 40 видов луков (48 таксонов) можно выращивать как пищевые овощные растения – *A. altaicum*, *A. angulosum*, *A. flavescens*, *A. nutans*, *A. schoenoprasum*, *A. obliquum*, *A. asconicum*, *A. ledebourianum*, *A. proliferum* и др.; 28 видов (35 таксонов) – как лекарственные (витаминные) – *A. victorialis*, *A. ursinum*, *A. ochotense*, *A. microdictyon*, *A. obliquum*, *A. ramosum* и др.; 81 вид (91 таксон) – как декоративные растения, в том числе красивоцветущие, красиволистные и газонные – среднеазиатские анзур: *A. aflatunense*, *A. altissimum*, *A. sarawshanicum*, *A. grande*, *A. stipitatum*, *A. altynolicum*, а также *A. lusitanicum*, *A. schoenoprasum*, *A. karelinii* и др.; для каменистых гор, рокариев – *A. pskemense*, *A. karataviense*, *A. christoffii*, *A. oreophilum*, *A. moly* и др. Тридцать пять видов (41 таксон) могут использоваться универсально – и как пищевые, и как декоративные растения.

Заключение

Коллекционный фонд рода *Allium* L. в Южно-Уральском ботаническом саду-институте в настоящее время включает 111 таксонов: 92 вида, ряд образцов и форм лука. В коллекции 7 видов, включенных в Красную книгу Республики Башкортостан (Red Book..., 2021), 35 редких видов других регионов РФ и бывшего СССР, 2 редких вида Красной книги РФ (Red Book..., 2008), 19 эндемичных видов.

Коллекция служит экспериментальным участком, где проводятся интродукционные испытания и изучение биологических особенностей редких и хозяйственно полезных видов рода. Особое внимание уделяется исследованиям биологии редких и эндемичных видов луков, которые позволяют выявить причины их редкости в природе и предложить способы их размножения. Культивирование и изучение биологических особенностей редких луков способствует пониманию причин их исчезновения и считается одним из методов сохранения их биоразнообразия. Размноженный в культуре семенной и посадочный материал наиболее редких луков флоры Башкортостана возвращается в природные местообитания путем проведения реинтродукционных работ (Muldashev et al., 2011, 2018; Elizaryeva et al., 2013).

Наши данные подтверждают перспективность выращивания большинства интродуцированных луков коллекции в Республике Башкортостан и Южно-Уральском регионе в целом. Коллекция луков Южно-Уральского ботанического сада-института может служить целям сохра-

нения биологического разнообразия, зафиксированным в Международной конвенции о биологическом разнообразии (<https://www.cbd.int/>) и Европейской стратегии сохранения растений (Plant conservation..., 2003). В дальнейшем размноженный *in situ* семенной и посадочный материал редких луков может быть использован для восстановления и поддержания нарушенных природных популяций; опыт подобных реинтродукционных мероприятий имеется в Башкортостане.

References / Литература

- Alibegova A.N., Musayev A.M. Interpopulation variability in size and weight of seeds of some species of *Allium* L. (Alliaceae) in the introduction. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2011;(2):126-128. [in Russian] (Алибегова А.Н., Мусаев А.М. Межпопуляционная изменчивость по размерам и массе семян некоторых видов *Allium* L. (Alliaceae) в условиях интродукции. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. 2011;(2):126-128).
- Buko T.E., Rodnova T.V. The results of the initial introduction of the genus *Allium* L. (onion) species in the Kuzbass Botanical Garden. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;7(117):92-96. [in Russian] (Буко Т.Е., Роднова Т.В. Результаты первичной интродукции видов рода *Allium* L. (Лук) в Кузбасском ботаническом саду. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2014;7(117):92-96).
- Bylov V.N., Karpisonova R.A. Principles of establishing and studying a collection of little-used ornamental perennials (Printsipy sozdaniya i izucheniya kollektzii maloraspstranennykh dekorativnykh mnogoletnikov). *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR = Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences*. 1978;107:77-82. [in Russian] (Былов В.Н., Карпи-сонова Р.А. Принципы создания и изучения коллекции малораспространенных декоративных многолетников. *Бюллетень Главного ботанического сада АН СССР*. 1978;107:77-82).
- Convention on Biological Diversity: [site]. Available from: <https://www.cbd.int/> [accessed May 23, 2022].
- Elizaryeva O.A., Muldashev A.A., Maslova N.V., Galeeva A.Kh. Biotechnical measures for restoring populations of *Allium hymenorrhizum* Ledeb. (Alliaceae) in the South Urals. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2013;(4):35-38. [in Russian] (Елизарьева О.А., Мулдашев А.А., Маслова Н.В., Галеева А.Х. Биотехнические мероприятия по восстановлению популяций лука плевокорневищного *Allium hymenorrhizum* Ledeb. (сем. Alliaceae) на Южном Урале. *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2013;(4):35-38).
- Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnova-Ikonnikova M.I., Murri I.K. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). Moscow; Leningrad: Selkhozizdat; 1972. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И., Мурри И.К. Методы биохимического исследования растений. Москва; Ленинград: Сельхозиздат; 1972).
- Fomina T.I. Promising food and decorative wild species of *Allium* L. in the collection of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*. 2020;33(1):48-55. [in Russian] (Фомина Т.И. Перспективные пищевые и декоративные дикорастущие виды *Allium* L. в кол-

- лекции Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН. *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. 2020;33(1):48-55). DOI: 10.32516/2303-9922.2020.33.5
- Gemejiyeva N.G., Tokenova A.M., Friesen N.V. Review of the current state and prospects of studying Kazakh species of the genus *Allium* L. *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia*. 2021;20(1):97-101. [in Russian] (Гемеджиева Н.Г., Токенова А.М., Фризен Н.В. Обзор современного состояния и перспективы изучения казахстанских видов рода *Allium* L. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2021;20(1):97-101). DOI: 10.14258/pbssm.2021020
- Govaerts R., Kington S., Friesen N., Fritsch R., Snijman D.A., Marcucci R., Silverstone-Sopkin P.A., Brullo S. World checklist of Amaryllidaceae. Kew: KewScience; 2005. Available from: <https://wccsp.science.kew.org/qsearch.do> [accessed June 17, 2022].
- Makhmudov A.V. Prospects for creating a Global *Allium* Garden Tashkent Center in Tashkent Botanical Garden. *Nauchnye trudy Cheboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN = Scientific works of Cheboksary Branch of the N.V. Tsitsin Main Botanical Gardens of the RAS*. 2020;(15):203-207. [in Russian] (Махмудов А.В. Перспективы создания Global *Allium* Garden Tashkent Center в Ташкентском ботаническом саду. *Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН*. 2020;(15):203-207).
- Methodological guidelines for the study of the collection of perennial fodder grasses (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektsii mnogoletnikh kormovoykh trav). Leningrad; 1979. [in Russian] (Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых трав. Ленинград; 1979).
- Miftakhova S.R., Abramova L.M. Rare species of wild relatives of cultivated plants of the Bashkortostan Republic. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014;16(1):66-68. [in Russian] (Мифтахова С.Р., Абрамова Л.М. Редкие виды диких родичей культурных растений Республики Башкортостан. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2014;16(1):66-68).
- Muldashev A.A., Elizaryeva O.A., Galeeva A.Kh., Galikeeva G.M., Tyutyunova N.M., Maslova N.V. Experience of reintroduction of *Allium nutans* L. in South Urals. *Ecobiotech*. 2018;1(4):216-226. [in Russian] (Мулдашев А.А., Елизарьева О.А., Галеева А.Х., Галикеева Г.М., Тютюнова Н.М., Маслова Н.В. Опыт реинтродукции *Allium nutans* L. на Южном Урале. *Экобиотех*. 2018;1(4):216-226). DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-4-216-226
- Muldashev A.A., Maslova N.V., Elizar'eva O.A., Galeeva A.Kh. Reintroduction of the rare species *Allium* L. of flora Southern Ural in botanical nature monument "Gurovsky Mountain" in Bashkortostan Republic. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(5-3):76. [in Russian] (Мулдашев А.А., Маслова Н.В., Елизарьева О.А., Галеева А.Х. Реинтродукция редких видов рода *Allium* L. флоры Южного Урала на территории ботанического памятника природы «Гуровская Гора» в Республике Башкортостан. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2011;13(5-3):76).
- Plant conservation in Europe (Sokhraneniye rasteniy Yevropy). Moscow: JUNC; 2003. [in Russian] (Сохранение растений Европы. Москва: JUNC; 2003).
- Razumov V.A. Mass analysis of feeds (Massovy analiz kormov). Moscow: Kolos; 1982. [in Russian] (Разумов В.А. Массовый анализ кормов. Москва: Колос; 1982).
- Red Book of the Republic of Bashkortostan. Vol. 1: Plants and mushrooms. 3rd ed. (Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan. T. 1: Rasteniya i griby. 3-e izd.). Moscow: Studiya Online; 2021. [in Russian] (Красная книга Республики Башкортостан. Т. 1: Растения и грибы. 3-е изд. Москва: Студия онлайн; 2021).
- Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms) (Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii [rasteniya i griby]). Moscow: KMK; 2008. [in Russian] (Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). Москва: КМК; 2008).
- Seregin A., Anačkov G., Friesen N. Molecular and morphological revision of the *Allium saxatile* group (Amaryllidaceae): geographical isolation as the driving force of underestimated speciation. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2015;178(1):67-101. DOI: 10.1111/boj.12269
- Smekalova T.N., Chukhina I.G. Catalogue of the VIR global collection. Issue 766. Wild relatives of cultivated plants of Russia. St. Petersburg: VIR; 2005. [in Russian] (Смекалова Т.Н., Чухина И.Г. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 766. Дикие родичи культурных растений России. Санкт-Петербург: ВИР; 2005).
- Smolynskaya M.A. Altay species from genus *Allium* L. studying in Bukovina condition (Western Ukraine). *Proceedings of the Tigirek Reserve*. 2010;(3):151-153. [in Russian] (Смолинская М.А. Изучение алтайских видов рода *Allium* L. в условиях Буковины (Западная Украина). *Труды Тигирекского заповедника*. 2010;(3):151-153).
- Tojibaev K.Sh., Jang C.G., Lazkov G.A., Chang K.S., Sitpayeva G.T., Safarov N. et al. An annotated checklist of endemic vascular plants of the Tian-Shan Mountains in Central Asian countries. *Phytotaxa*. 2020;464(2):117-158. DOI: 10.11646/phytotaxa.464.2.1
- Tukhvatullina L.A. Ornamental onions of the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, recommended for cultivation in the Republic of Bashkortostan. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2017;(1):61-67. [in Russian] (Тухватуллина Л.А. Декоративные луки Ботанического сада-института УНЦ РАН, рекомендуемые для выращивания. *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2017;(1):61-67).
- Tukhvatullina L.A. Some biological features of *Allium ursinum* L. and *Allium victorialis* L. under introduction in the Republic of Bashkortostan. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2016;(2):22-27. [in Russian] (Тухватуллина Л.А. Некоторые биологические особенности *Allium ursinum* L. и *Allium victorialis* L. при интродукции в Республике Башкортостан. *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2016;(2):22-27).
- Tukhvatullina L.A. To the biology of some rare onions at the Bashkir Cis-Urals. *Agrarian Russia*. 2015;(7):2-5. [in Russian] (Тухватуллина Л.А. К биологии некоторых редких луков в Башкирском Предуралье. *Аграрная Россия*. 2015;(7):2-5).
- Tukhvatullina L.A., Abramova L.M. Biological features of rare species *Allium grande* Lipsky in the Bashkir Cis-Urals. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. 2020;(134):23-28. [in Russian] (Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Биологические особенности редкого вида *Allium grande* Lipsky в Башкирском Предуралье. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2020;(134):23-28). DOI: 10.36305/0513-1634-2020-134-23-28

- Tukhvatullina L.A., Abramova L.M. Biological peculiarities of a rare species of nereid-color onion (*Allium neriniflorum*) when introduced in Bashkir Preduralye. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2018;70(2):81-83 [in Russian] [Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Биологические особенности редкого вида лука нереидоцветного (*Allium neriniflorum*) при интродукции в Башкирском Предуралье. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018;70(2):81-83].
- Tukhvatullina L.A., Abramova L.M. Biology and biochemistry of some onion varieties in Bashkir Preduralye. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2016;59(3):185-188. [in Russian] [Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Биология и биохимия некоторых луков в Башкирском Предуралье. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;59(3):185-188].
- Tukhvatullina L.A., Abramova L.M. Leaves biochemical composition in wild species of onion in Republic of Bashkortostan. *Agricultural Biology*. 2012;47(3):109-113. [in Russian] [Тухватуллина Л.А., Абрамова Л.М. Биохимический состав листьев у дикорастущих луков в Республике Башкортостан. *Сельскохозяйственная биология*. 2012;47(3):109-113].
- Volkova G.A., Motorina N.A., Ryabinina M.L. Results of introduction the Central Asian species of onion (sort *Allium* L.) in the European Northeast. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012;14(1-9):2195-2197. [in Russian] [Волкова Г.А., Моторина Н.А., Рябинина М.Л. Итоги интродукции среднеазиатских видов лука (род *Allium* L.) на европейском Северо-Востоке. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012;14(1-9):2195-2197].

Информация об авторах

Ленвера Ахнафовна Тухватуллина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт, 450080 Россия, Уфа, ул. Менделеева, 195/3, lenvera1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6571-8094>

Лариса Михайловна Абрамова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Южно-Уральский ботанический сад-институт, 450080 Россия, Уфа, ул. Менделеева, 195/3, abramova.lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3196-2080>

Information about the authors

Lenvera A. Tukhvatullina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden-Institute, 195/3 Mendeleeva St., Ufa 450080, Russia, lenvera1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6571-8094>

Larisa M. Abramova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, South-Ural Botanical Garden-Institute, 195/3 Mendeleeva St., Ufa 450080, Russia, abramova.lm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3196-2080>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.01.2021, одобрена после рецензирования 15.02.2021, принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 12.01.2021, approved after reviewing on 15.02.2021, accepted for publication on 01.12.2022.

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 633.11:632.938

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218



Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине

Е. И. Гулятьева¹, Е. Л. Шайдаюк¹, В. В. Веселова¹, Р. Е. Смирнова¹, Е. В. Зуев², А. Г. Хакимова², О. П. Митрофанова²¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Ивановна Гулятьева, eigulytyaeva@gmail.com

Актуальность. Возделывание устойчивых сортов – эффективный метод защиты пшеницы от бурой ржавчины. Цель работы – охарактеризовать ювенильную устойчивость к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2021 г., идентифицировать у них *Lr*-гены с использованием молекулярных маркеров.

Материалы и методы. Материал включал 18 сортов озимой и 9 яровой мягкой пшеницы. Устойчивость в фазе проростков оценивали с использованием двух тест-клонов (*kLr9* и *kLr19*) и краснодарской популяции *Puccinia triticina* Erikss. Молекулярные маркеры использовали для идентификации 18 *Lr*-генов.

Результаты и обсуждение. Высокий уровень устойчивости (балл 0 или 0;) показали сорта 'Хамдан', 'Шарм' и 'Омская 44'; умеренный (балл 2, 2+) 'Альбидум 2030'. Реакция сортов 'Полина', 'Россыпь', 'Статус', 'Балкыш' и 'Богема' варьировала. У изученных сортов не обнаружено ювенильных генов *Lr9*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr66* и генов устойчивости взрослых растений – *Lr21* и *Lr35*. У высокоустойчивого сорта 'Шарм' маркеры идентифицируемых генов не выявлены. У 'Хамдан' присутствует малоэффективный ген *Lr10* и ген частичной устойчивости *Lr34*, которые не обеспечивают защиту в фазе проростков. По-видимому, эти сорта имеют дополнительные гены устойчивости. Устойчивость к бурой ржавчине сорта 'Омская 44' обеспечивается сочетанием генов *Lr19*, *Lr26*, *Lr1* и *Lr3*. У сорта 'Немчиновская 85' определен частично эффективный ген устойчивости взрослых растений *Lr37*. У других изученных сортов широко представлены гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* и *Lr34*.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Puccinia triticina*, *Lr*-гены, молекулярные маркеры

Благодарности: все фитопатологические и молекулярно-генетические исследования выполнены в рамках государственного задания по тематическому плану ВИЗР, проект FGEU-2022-0003 «Таксономическое, генетическое и экологическое разнообразие важнейших групп фитопатогенных грибов» (ЕГИСУ НИОКТР: 122032900152-7); в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»; коллекция мягкой пшеницы ВИР была пополнена образцами современных отечественных сортов и в ВИЗР передан семенной материал 9 яровых и 12 озимых сортов мягкой пшеницы.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Гулятьева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Веселова В.В., Смирнова Р.Е., Зуев Е.В., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Разнообразие новых российских сортов мягкой пшеницы по генам устойчивости к бурой ржавчине. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):208-218. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218

Diversity of new Russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes

Elena I. Gulyaeva¹, Ekaterina L. Shaydayuk¹, Viktoriya V. Veselova¹, Regina E. Smirnova¹, Evgeny V. Zuev², Anida G. Khakimova², Olga P. Mitrofanova²

¹ All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg Russia

Corresponding author: Elena I. Gulyaeva, eigulyaeva@gmail.com

Background. Cultivation of resistant cultivars is an effective method of wheat protection against leaf rust. The purpose of this work was to characterize the juvenile leaf rust resistance of bread wheat cultivars listed in the State Register for Selection Achievements in 2021 and identify their *Lr* genes using molecular markers.

Materials and methods. The material included 18 cultivars of winter bread wheat and nine spring ones. Juvenile resistance in the seedling phase was assessed with two test clones (*kLr9* и *kLr19*) and the Krasnodar population of *Puccinia triticina* Erikss. Molecular markers were used to identify 18 *Lr* genes.

Results and discussion. A high level of resistance (score 0 or 0;) was shown by cvs. 'Khamdan', 'Sharm' and 'Omskaya 44'; moderate resistance (score 2, 2+) by 'Albidum 2030'. Reactions of 'Polina', 'Rossyp', 'Status', 'Balkysh' and 'Bogema' were variable. The studied cultivars did not contain juvenile genes *Lr9*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr39*, *Lr47* or *Lr66* and adult plant resistance genes *Lr21* and *Lr35*. Markers of identifiable genes were not detected in cv. 'Sharm', highly resistant to leaf rust. 'Khamdan' had an ineffective *Lr10* gene and a partial resistance gene *Lr34*, which offered no protection in the seedling stage. These cultivars seem to contain additional resistance genes. A high level of resistance to leaf rust in 'Omskaya 44' is provided by a combination of the *Lr19*, *Lr26*, *Lr1* and *Lr3* genes. In 'Nemchinovskaya 85', the partially effective adult plant resistance gene *Lr37* was identified. In other tested cultivars, *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* and *Lr34* were widely represented.

Keywords: *Triticum aestivum*, *Puccinia triticina*, *Lr* genes, molecular markers

Acknowledgements: all phytopathological and molecular-genetic research was carried out in the framework of the state task delegated to the All-Russian Research Institute of Plant Protection (VIZR), Project FGEU-2022-0003 "Taxonomic, genetic and ecological diversity of the most important groups of phytopathogenic fungi" (registration No. 122032900152-7); within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0001 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production"; the bread wheat collection of VIR was enriched with accessions of modern domestic cultivars, and VIZR received seed materials of 9 spring and 12 winter bread wheat cultivars.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Gulyaeva E I., Shaydayuk E.L., Veselova V.V., Smirnova R.E., Zuev E.V., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Diversity of new Russian bread wheat cultivars according to leaf rust resistance genes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):208-218. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-208-218

Введение

На долю пшеницы, лидера среди зерновых культур в России, приходится 35,8% в структуре посевных площадей этих культур (Medvedeva, 2021). Озимая пшеница доминирует на Северном Кавказе, в Центрально-Черноземном и Центральном регионах, а яровая – в Поволжье, Западной Сибири и на Урале (Afonin et al., 2008). Зоны возделывания культуры характеризуются высоким почвенно-климатическим разнообразием, в связи с чем требования, предъявляемые к сортам пшеницы в каждой зоне, чрезвычайно специфичны.

В современной селекции пшеницы особое внимание, наряду с улучшением основных хозяйственно ценных признаков, уделяют повышению устойчивости к вредным организмам. Разнообразие выращиваемых сортов по типам устойчивости и контролирующим ее генам лежит в основе их эффективной генетической защиты. Для поддержания генетического разнообразия сортов необходима координация в распределении источников и доноров устойчивости по региональным селекционным учреждениям, чтобы не допустить использования в гибридизации многими селекционерами сортов с идентичными генами устойчивости.

Примером такой ситуации является широкая представленность на Южном Урале и в Западной Сибири перенесенного в яровую мягкую пшеницу от *Aegilops umbellulata* Zhuk. гена устойчивости к бурой ржавчине *Lr9*. В 1970–1980 гг. этот ген считали одним из эффективных для защиты пшеницы в России от бурой ржавчины. В середине 1990 г. в Западной Сибири был создан первый сорт 'Терция', а на Южном Урале – 'Квинта' и 'Дуэт'. Эти сорта активно использовали в селекции.

Сначала полагали, что сорт 'Терция' и созданные с его участием сорта защищены геном *Lrtr*, отличным от известных эффективных *Lr*-генов. Однако гибридологическим анализом и с помощью молекулярных маркеров было показано, что ген *Lrtr* идентичен гену *Lr9* (Tyryshkin et al., 2006). Это было подтверждено фитопатологическим тестом, когда в Западной Сибири появились изоляты гриба, вирулентные к образцам с геном *Lr9* (Meshkova et al., 2012). Во всех западноазиатских регионах России и в Казахстане эффективность этого гена в настоящее время утрачена (Meshkova et al., 2012; Agabayeva, Rsaliyev, 2013). В отдельные годы вирулентность к *Lr9* отмечают и в центральноевропейских регионах (Zhemchuzhina et al., 2019; Gulyaeva et al., 2021).

Известно, что бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) – одно из распространенных и экономически значимых заболеваний пшеницы во всех сельскохозяйственных регионах России. Изменения в расовом составе популяций *P. triticina* тесно связаны с возделываемыми сортами. Информация о генетическом контроле устойчивости сортов, их распределении по регионам, позволяет оценить возможные изменения в популяционном составе патогена и скорректировать защитные мероприятия. Эти исследования традиционно проводятся во Всероссийском институте защиты растений (ВИЗР) (Novozhilov et al., 1998; Gulyaeva et al., 2014; Gulyaeva, Shaydayuk, 2021; Gulyaeva et al., 2021).

Селекция на устойчивость к бурой ржавчине имеет длительную историю. Актуальность ее проведения была обозначена еще А. А. Jaszewsky в 1910 г., который в монографии «Болезни растений» писал: «У нас, к сожалению, и теперь еще полагают, что вся наука о больных растениях заключается лишь в опрыскиваниях бордоской жид-

костью, или каким либо другим составом, после чего можно сложа руки ожидать результат: поэтому нам показалось уместным подробнее остановиться на вопросе о предрасположении растений к заболеваниям, так как мы вполне убеждены, что центр тяжести всей практической фитопатологии лежит именно в устойчивости, а всякие лечебные свойства являются лишь паллиативы и вспомогательные способы борьбы» (Jaszewsky, 1910, p. 170–171). Широкое общественное обсуждение данная проблема получила на 1-ом съезде по селекции сельскохозяйственных растений, семеноводству и распространению семенного материала в Харькове в 1911 г. Именно на эти материалы ссылался Н. И. Вавилов (Vavilov, 1913) в своей монографии «К вопросу об устойчивости хлебных злаков», где выведение устойчивых сортов он выделил первостепенной задачей в защите пшеницы от ржавчины.

К настоящему времени достигнуты определенные успехи в селекции ржавчиноустойчивых сортов. В середине прошлого столетия во многих селекцентрах России в качестве источников устойчивости широко использовали 'Selkirk' (*Lr10*, *Lr14a*, *Lr16*), 'Lee' (*Lr10*, *Lr23*), 'Timstein' (*Lr10*, *Lr23*), 'Gabo' (*Lr10*, *Lr23*), 'Rieti' (*Lr34/Yr18/Sr57*), 'Klein 33' (*Lr13*, *Sr8b*), 'Neuzucht' (*Lr26*, *Sr31*), 'Norman' (*Lr13*), 'Sonora 64' (*Lr1*), 'Lerma Rojo' (*Lr10*, *Lr17*), 'Mentana' (*Lr3*, *Sr8a*), 'Maria Escobar' (*Lr14b*, *Lr17*), 'Supremo 211' (*Lr34/Yr18/Sr57*), 'Klein H-75' (*Lr13*), 'Klein Lucero' (*Lr17*), 'H-44' (*Lr14a*), 'Gabo' (*Lr10*, *Lr23*), 'Hope' (*Lr14a*), 'Selkirk' (*Lr14a*), 'Inia 66' (*Lr14a*), 'Kanred' (*Sr5*), 'Saunders', 'Ruby', 'Kitchener', 'Kärn II', 'Svenno' и другие образцы из коллекции ВИР. От них в российские сорта были переданы гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr14b*, *Lr17*, *Lr16*, *Lr23* и другие (Zhemchuzhina et al., 1992; McIntosh et al., 1995). В 1960–1970 гг. в гибридизацию стали активно привлекать сорта 'Аврора' и 'Кавказ' с пшенично-ржаной транслокацией, несущей гены *Lr26*, *Sr31*, *Yr9*, *Pm8*, и 'Безостая 1' с кластером генов частичной устойчивости (partial resistant genes) *Lr34*, *Sr57*, *Yr18*, *Pm38*. В 1980-х гг. в производство были внедрены первые сорта с геном *Lr23* ('Саратовская 56', 'Ершовская 32', 'Куйбышевская 1' и др.), который был передан в мягкую пшеницу от *Triticum durum* Desf. По данным I. G. Odintsova и Н. О. Peusha (1984), ген *Lr23* обеспечивает высокий уровень горизонтальной устойчивости. В этот же период в ряде селекционных учреждений России стали широко использовать доноры генов *Lr9* и *Lr19*. В 1993 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (далее – Госреестр), был включен первый сорт 'Л503' с геном *Lr19*. В середине 1990-х гг., с увеличением числа созданных сортов с этим геном и посевных площадей под ними (более 100 тыс. га), защитный эффект гена был преодолен (Markelova, 2007; Sibikeev, Krupnov, 2007).

В 2005–2010 гг. отмечался существенный прогресс в создании и внедрении в производство новых сортов озимой пшеницы. Если в 1995–2000 гг. ежегодно в Госреестр включали по 5–8 сортов озимой пшеницы, то в 2015 г. их число достигло 42 (State Register..., 2022). Обусловлено это было внедрением в ряде регионов новой сортовой политики, основанной на переходе от монопольного использования отдельных сортов к расширению их сортимента и своевременной сортосмене (Bespalova et al., 2014; Shamanin, 2012). С увеличением общего числа новых сортов росло и число сортов, устойчивых к бурой ржавчине. Так, в середине 1990-х гг. доля резистентных сортов, рекомендуемых для возделывания, была менее 4%. В 2005 г. она составила 15%. В 2006–

2011 гг. устойчивостью к бурой ржавчине характеризовались свыше 3% озимых и 25% яровых реестровых сортов, и эта динамика сохраняется по настоящее время (Gulyaeva et al., 2021; Gulyaeva, Shaydayuk, 2021).

В 2021 г. Госреестр пополнился 20 новыми сортами озимой и 13 яровой мягкой пшеницы (<https://reestr.gos-sortrf.ru>). Согласно представленной в нем информации, они обладают разным уровнем устойчивости к бурой ржавчине. Цель данной работы – охарактеризовать ювенильную устойчивость к бурой ржавчине сортов мягкой пшеницы, впервые включенных в Госреестр в 2021 г., и с использованием молекулярных маркеров идентифицировать у них *Lr*-гены.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили 18 сортов озимой и 9 сортов яровой мягкой пшеницы. Семенной материал данных образцов был любезно предоставлен региональными селекционными учреждениями РФ и Всероссийским институтом генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР).

Использованные два тест-клона и краснодарская популяция *P. triticina*, собранная с пораженных сортов озимой пшеницы в 2021 г., были авирулентны к линиям Thatcher (TcLr) с генами *Lr24*, *Lr23*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr39*(=41), *Lr45*, *Lr47*, *Lr51*, *Lr53* и вирулентными к *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr30*. Между собой популяция и тест-клоны различались по вирулентности к линиям TcLr9, TcLr19 и TcLr26. Тест-клон kLr9 характеризовался вирулентностью к TcLr9, а клон kLr19 – к TcLr19, и оба эти изолята были авирулентны к линии TcLr26. Краснодарская популяция была вирулентна к линии TcLr26 и авирулентна к TcLr9 и TcLr19.

Инокуляцию сортов пшеницы проводили по стандартной международной методике (Kolmer, 2003), адаптированной к условиям ВИЗР (Gulyaeva, Shaydayuk, 2021). Растения выращивали в сосудах с почвой. В фазе первого листа их опрыскивали суспензией спор каждого изолята и популяции в иммерсионной жидкости 3М™ Noves™ 7100. После заражения растения помещали на светоустановку с контролируемыми условиями (температура: 20°C, фотопериод: 16 ч день/8 ч ночь). Тип реакции пшеницы определяли по шкале E. B. Mains, H. S. Jackson (McIntosh et al., 1995), где: 0 – отсутствие симптомов; 0; – некрозы без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – пустулы среднего размера без некроза, 4 – крупные пустулы без некроза, X – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы. Растения, поражение которых составляло 0–2 балла, относили к устойчивым (R), с баллами 3, 4 – к восприимчивым (S), со смешанным типом X – к умеренно восприимчивым (MS).

ДНК из листьев 5–7-дневных растений пшеницы экстрагировали по методике (Dorokhov, Cloquet, 1997). Концентрация ДНК в рабочем растворе составляла 50–100 нг/мкл. С помощью молекулярных маркеров идентифицировали следующие гены:

– высокоэффективные *Lr24* (маркер Sr24#12, Mago et al., 2005), *Lr25* (Lr25F20/R19, Procunier et al., 1995), *Lr28* (SCS421, Cherukuri et al., 2005), *Lr29* (Lr29F24, Procunier et al., 1995), *Lr41* (=Lr39) (GDM35, Brown-Guedira, Singh, <http://maswheat.ucdavis.edu>), *Lr47* (PS10, Helguera et al., 2000), *Lr66* (S13-R16, Marais et al., 2010);

– частично эффективные *Lr9* (SCS5, Gupta et al., 2005) и *Lr19* (SCS265, Gupta et al., 2006);

– гены устойчивости взрослых растений – *Lr21* (Lr21F/R, Fritz, <http://maswheat.ucdavis.edu>), *Lr34* (csLV34, Lagudah et al., 2006), *Lr35* (Sr39#22r, Mago et al., 2009) и *Lr37* (Ventriup/LN2, Helguera et al., 2003);

– малоэффективные *Lr1* (WR003 F/R, Qiu et al., 2007), *Lr3* (Xmwig798, Herrera-Foessel et al., 2007), *Lr10* (F1.2245/Lr10-6/r2, Chelkowski et al., 2003), *Lr20* (STS638, Neu et al., 2002) и *Lr26* (SCM9, Weng et al., 2007).

Полимеразную цепную реакцию проводили в амплификаторе MyCycler Thermal Cycler (BioRad, США) по протоколу, предложенным разработчиками праймеров. Амплифицированные фрагменты разделяли электрофорезом в 1,5-процентном агарозном геле в 1×TBE-буфере, гели окрашивали бромистым этидием и фотографировали в ультрафиолетовом свете.

Результаты и обсуждение

Резистентность (R) к краснодарской популяции возбудителя бурой ржавчины и тест-клонам в фазе проростков (балл 0 или 0;) показали озимые сорта 'Хамдан', 'Шарм' и яровой сорт 'Омская 44' (таблица). 'Альбидум 2030' характеризовался умеренной устойчивостью (MR, балл 2). Устойчивость к тест-клонам, но восприимчивость к краснодарской популяции проявили озимые сорта 'Полина', 'Россыпь', 'Статус' и яровой сорт 'Балкыш'. По результатам фитопатологического теста у них можно предположить наличие гена *Lr26*. Озимый сорт 'Богема' был умеренно устойчив (MR) при инокуляции тест-клоном kLr9 и краснодарской популяцией, но восприимчив к клону kLr19. Все другие изученные сорта в фазе проростков характеризовались восприимчивой реакцией к тест-клонам и краснодарской популяции, что указывает на отсутствие у них высокоэффективных ювенильных генов.

Молекулярными маркерами у изученных сортов высоко- и частично эффективные ювенильные гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr66*, а также гены устойчивости взрослых растений *Lr21* и *Lr35*, не обнаружены. В фазе проростков у озимых сортов 'Хамдан' и 'Шарм' известные эффективные *Lr*-гены не выявлены. У 'Хамдан' идентифицирован малоэффективный ген *Lr10* и ген частичной устойчивости *Lr34*. В полевых условиях защитный эффект этого гена проявляется по типу замедленного развития болезни. Сорт 'Хамдан' получен индивидуальным отбором из гибридной популяции от скрещивания краснодарских линий двуручек Л. 1120я16-28 и Л. 1120я16-31 с сортом 'Безенчукская 380', который характеризуется восприимчивостью к бурой ржавчине. Можно предположить, что устойчивость 'Хамдан' обусловлена какими-то другими генами (геном), переданными от линий двуручек, поскольку сочетание *Lr10* и *Lr34* не обеспечивает устойчивую реакцию в фазе проростков. Согласно характеристике, представленной в Госреестре (<https://reestr.gos-sortrf.ru>), сорт 'Хамдан' в полевых условиях обладает групповой устойчивостью к бурой и желтой ржавчинам, мучнистой росе, фузариозу колоса и умеренной восприимчивостью к септориозу.

У высокоустойчивого сорта 'Шарм' идентифицируемые эффективные гены не выявлены. Этот сорт, как и 'Хамдан', получен в Национальном центре зерна имени П.П. Лукьяненко с использованием оригинальных линий. Наряду с устойчивостью к бурой ржавчине, 'Шарм' харак-

Таблица 1. Характеристика сортов озимой и яровой мягкой пшеницы, впервые включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2021 г., по устойчивости к бурой ржавчине

Table 1. Description of winter and spring bread wheat cultivars, for the first time included in the State Register for Selection Achievements in 2021, in the context of their leaf rust resistance

Сорт	Родословная	Регионы допуска	Идентифици- рованные <i>Lr</i> -гены	Устойчивость в фазе про- ростков к тест-клонам*			Устойчивость в полевых условиях**
				<i>kLr9</i>	<i>kLr19</i>	пКр	
Озимая мягкая пшеница							
Альбирео	Эритроспермум (Эр.) 1010 × Эр. 118	Ц	<i>Lr34</i>	S	S	S	СУ
Богема	Спалах × Донская лира	СК	<i>Lr3</i>	MR	S	MR	СУ
Бумба	Нота × Лют. 2173 h 69	СК	<i>Lr1, Lr3</i>	S	S	S	СУ
Галатей	(Мироновская 29 × Инна) × Инна	Ц	<i>Lr3</i>	S	S	MS	СУ
Классика	Отбор из гибридной популяции от свободного опыления стерильного аналога сорта Бизон	Ц, СК, НВ	<i>Lr10</i>	S	S	S	СУ
Краснообская озимая	Новосибирская 3 × Омская 6	ЗС	<i>Lr3</i>	S	S	S	СВ
Московская 82	Soldier × Инна	ВВ, ЦЧР	<i>Lr3</i>	S	S	S	СВ
Немчиновская 85	Агарік × Памяти Федина	Ц, ВВ, ЦЧР	<i>Lr3, Lr37</i>	S	S	S	СВ
Партнер	Ермак × Сила	СК	<i>Lr3, Lr34</i>	MS	S	S	У
Полина	Ермак × Восторг	СК	<i>Lr3, Lr26</i>	MR	MR	MS	СУ
Рифей	Тарасовская остистая × Пионерская 32	У	<i>Lr3, Lr34</i>	S	S	S	СУ
Россыпь	Нота × Лют. 2173 h 69	СК, НВ	<i>Lr3, Lr26</i>	R	R	S	У
Статус	(Зерноградка 10 × Подарок Дону) × Тристан	СК, НВ	<i>Lr10, Lr26, Lr34</i>	R	R	S	СУ
Стиль 18	74-93к5-5 × Лавина	ЦЧР, СК, НВ	<i>Lr3</i>	S	MS	S	У
Тайгета	Эр. 904 × Эр. 1789	ЦЧР, СВ	<i>Lr3, Lr34</i>	S	S	S	СУ
Хамдан	Отбор из гибридных популяций, полученных от скре- щивания красnodарских линий двуручек Л. 1120я16-28 и Л. 1120я16-31 с сортом Безенчукская 380	СК, НВ	<i>Lr10, Lr34</i>	R	R	R	У
Шарм	446-99к3-6 × 172-96к11-1	СК		R	R	R	У
Юбилей Дона	1638/05 × Ростовская 3	СК, НВ	<i>Lr1, Lr3</i>	S	S	S	СУ

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Сорт	Родословная	Регионы допуска	Идентифици- рованные <i>Lr</i> -гены	Устойчивость в фазе про- ростков к тест-клонам*			Устойчивость в полевых условиях**
				<i>kLr9</i>	<i>kLr19</i>	пКр	
Яровая мягкая пшеница							
Альбидум 2030	(Л-503 × Прохоровка) × Учитель	У	<i>Lr1, Lr3</i>	MR	MR	MR	B
Анфя	Лира 98 × Линия 58/3-01	ДВ		S	S	S	B
Балкыш	Линия 22/95 × Эпос	СВ	<i>Lr26</i>	R	R	S	У
Гречанка	Грекум 2131 × (Альбидум 3203 × Альбидум 3132)	НВ	<i>Lr10</i>	MR-MS	MR-MS	MS-S	У
КВС Джетстрим	Vapek × KWS Scirocco	ЗС	<i>Lr1, Lr20</i>	S	S	S	B
Маэстро	Омская 33 × Эстер	Ц	<i>Lr3</i>	S	S	S	–
Омская 44	Лютесценс 248/97-11 × Омская 38	ЗС, ВС	<i>Lr1, Lr3, Lr19, Lr26</i>	R	R	R	СУ
Саратовская 76	(Саратовская 71 × Саратовская 64) × Саратовская 68	НВ, У	<i>Lr3, Lr10</i>	S	S	S	СУ
Юбилейная 60	Люба × Приокская	СЗ	<i>Lr3</i>	S	S	S	–

Примечание: регионы Российской Федерации: СЗ – Северо-Западный, Ц – Центральный, ЦЧР – Центрально-Черноземный, ВВ – Волго-Вятский, СВ – Средневолжский, НВ – Нижневолжский, СК – Северокавказский, У – Уральский, ЗС – Западно-Сибирский, ВС – Восточно-Сибирский, ДВ – Дальневосточный;

* реакция: R – устойчивость (тип реакции 0), MR – умеренная устойчивость (баллы 1, 2 балла), MS – умеренная восприимчивость (баллы 3, X), S – восприимчивость (балл 4).

** по данным Госреестра, 2021 (<https://reestr.gossortrf.ru>): У – устойчивый, СУ – среднеустойчивый, СВ – средневосприимчивый, В – восприимчивый

Note: Regions of the Russian Federation: СЗ – Northwest, Ц – Central, ЦЧР – Central Black Earth, ВВ – Volga-Vyatka, СВ – North Caucasian, У – Ural, ЗС – West Siberian, НВ – East Siberian, ДВ – Far East;

* reaction R – resistance (score 1 or 2), MS – medium resistance (score 3 or X), S – susceptibility (score 4).

** according to the data presented in the State Register, 2021 (<https://reestr.gossortrf.ru>): У – resistant, СУ – moderately resistant, СВ – moderately susceptible, В – susceptible

теризуется устойчивостью к желтой ржавчине и мучнистой росе, а также умеренной восприимчивостью к септориозу

У сорта 'Омская 44' выявлено четыре гена: *Lr1*, *Lr3*, *Lr19* и *Lr26*. Показано, что в защите от бурой и стеблевой ржавчин эффективно сочетание генов *Lr19* и *Lr26*. По отдельности эти гены утратили эффективность, однако их пирамидирование способствует повышению уровня устойчивости к бурой ржавчине. Обусловлено это тем, что в российских популяциях *P. triticina* отсутствуют изоляты, вирулентные к обоим генам. Сочетание названных генов обнаружено также у 'Омская 37', 'Омская 38', 'Омская 41', полученных в ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Все сорта рекомендованы для возделывания в Западной Сибири. Высокая и стабильная урожайность, толерантность к болезням и отличное качество зерна – главные составляющие их коммерческой ценности.

Для умеренно устойчивого сорта 'Альбидум 2020' выявлены малоэффективные гены *Lr1* и *Lr3*. Данный сорт получен с участием Л-503, 'Прохоровка' и 'Учитель'. Сорт 'Прохоровка' имеет гены *Lr10* и *Lr26*, Л-503 – *Lr10* и *Lr19* (Gulyaeva et al., 2021), а у 'Альбидум 2020' эти гены не выявлены. Данные молекулярного скрининга согласуются с фитопатологическим тестированием, в результате которого этот сорт показал реакцию умеренной устойчивости.

С использованием маркера SCM9 у 'Россыпь', 'Статус', 'Полина', 'Балкыш' подтверждено наличие гена *Lr26*, идентифицированного при фитопатологическом тестировании. У 'Полина' и 'Россыпь' определен также ген *Lr3*, а у 'Статус' – *Lr10* и *Lr34*. Все три сорта рекомендованы для возделывания в Северо-Кавказском регионе, поскольку они устойчивы к бурой ржавчине в полевых условиях (<https://reestr.gossortrf.ru>). Сорт 'Полина' получен с участием 'Ермак' и 'Восторг'. В проведенных ранее исследованиях у сорта 'Ермак' выявлен ген *Lr3*, а у сорта 'Восторг' – *Lr26* (Gulyaeva et al., 2021). Таким образом, сорт 'Полина' унаследовал от родительских сортов оба гена. Сорт 'Россыпь' получен с участием 'Нота' и линии Лют. 2173h69. У 'Нота' идентифицированы *Lr1* и *Lr10*, которые не унаследованы сортом 'Россыпь'. Линию Лют. 2173h69 не изучали. Сорт 'Статус' получен с участием 'Зерноградка 10', 'Подарок Дону' и 'Тристан'. Все эти сорта несут ген *Lr34*, но не имеют гена *Lr26*.

Ген *Lr34* выявлен у 'Альбирио' и, в сочетании с *Lr3*, – у 'Партнер', 'Рифей' и 'Тайгета'. Эти сорта устойчивы к бурой ржавчине в полевых условиях. Следует отметить, что ген *Lr34* находится в одном кластере с генами устойчивости к мучнистой росе (*Pm38*), стеблевой (*Sr57*) и желтой (*Yr18*) ржавчинам. Он также относится к группе генов, обеспечивающих устойчивость как качественного, так и количественного проявления; другими словами, он контролирует частичную устойчивость, или устойчивость по типу медленного развития (slow rusting) (McIntosh et al., 1995). Этот тип устойчивости отличается более длительным латентным периодом, уменьшенным числом пустул на единицу поверхности листа, меньшим количеством спор в пустуле и меньшим их размером. В России еще в 1980-х гг. ген утратил свою эффективность из-за широкого возделывания сортов с *Lr34*, в частности сорта 'Безостая 1'. Последующая гибридизация с 'Безостая 1' предопределила его широкое распространение в современных сортах. При этом показано, что сочетание гена *Lr34* с двумя

и более малоэффективными генами (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* и др.) способствует повышению уровня полевой устойчивости сортов – их носителей (Dakouri et al., 2013). В литературе имеются также сведения об эффективном взаимодействии *Lr34* с другими возрастными генами, например *Lr12*, *Lr13* и *Lr37*.

А. Serfling et al. (2011) показали повышенный уровень экспрессии устойчивости у немецкого сорта 'Madrid' с генами *Lr1*, *Lr13* и *Lr14*; у 'Travix' – с *Lr1*, *Lr10*, *Lr26* и *Lr37*; у 'Limes' – с *Lr1*, *Lr10*, *Lr13* и *Lr26*. Отсутствие надежных молекулярных маркеров для *Lr12*, *Lr13*, *Lr14* и других известных генов, используемых в российской селекции, не позволило провести их идентификацию у изучаемых сортов.

Среди отечественных районированных сортов сохраняется тенденция роста числа сортов с геном устойчивости взрослых растений *Lr37* (adult plant resistance gene). Он выявлен у сорта 'Немчиновская 85' в комбинации с малоэффективным геном *Lr3*. Первый сорт озимой пшеницы 'Морозко' с *Lr37* получен в Федеральном научном центре зерна имени П.П. Лукьяненко и допущен к возделыванию в Северо-Кавказском регионе в 2015 г. (<https://reestr.gossortrf.ru>). В 2017, 2019 и 2020 гг. для возделывания в этом регионе предложены новые сорта с *Lr37* – 'Сварог', 'Маркиз' и 'Гомер'. Озимый сорт 'Немчиновская 85' рекомендован для Центрального, Центрально-Черноземного и Волго-Вятского регионов, где также выращиваются яровые сорта 'Гаренда', 'Токката' и 'Одета' с этим геном. Полученная информация указывает на увеличение в районировании сортов с геном *Lr37* и на расширение территории их возделывания.

Транслокация с геном *Lr37*, находящаяся в коротком плече хромосомы 2A, передана мягкой пшенице от *Triticum ventricosum* Ces. (= *Aegilops ventricosa* Tausch). В этой транслокации также присутствуют гены устойчивости к стеблевой (*Sr38*) и желтой (*Yr17*) ржавчинам (McIntosh et al., 1995). Источником этих генов для мягкой пшеницы был образец VPM1, созданный путем скрещивания сорта 'Marne Despez' с *Ae. ventricosa* и *T. persicum*. VPM1 массово использовали в селекции пшеницы в Западной Европе, поскольку, наряду с генами устойчивости к трем ржавчинам, он имеет в хромосоме 7D эффективный ген устойчивости к церкоспореллезной корневой гнили *Pch2* и в коротком плече хромосомы 2A – ген устойчивости к злаковой цистообразующей нематоды *Cre5*.

Ген *Lr37* до 2000-х гг. был одним из высокоэффективных возрастных генов во всем мире (McIntosh et al., 1995). Вирулентность к сортам, защищенным этим геном, впервые была описана в Австралии в 2002 г. Однако уже к 2010 г. ген утратил эффективность в Западной Европе в связи с широким выращиванием сортов – его носителей (Serfling et al., 2011). Было показано, что на экспрессию данного гена влияет генетическая среда сорта-хозяина. В России эффективность гена *Lr37* варьирует по регионам. По настоящее время он остается эффективным на Северо-Западе России и на Урале. Установлено, что эффект гена *Lr37* усиливается в сочетании с частично эффективными генами (Sibikeev, Druzhin, 2015).

У новых исследованных нами российских сортов широко представлены малоэффективные гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr20*, *Lr26*, которые идентифицированы у них как по отдельности, так и в разных сочетаниях. Ген *Lr3* идентифицирован у 63% сортов, *Lr10* и *Lr26* – у 18%, *Lr1* – у 15% и *Lr20* – у 4%.

Заключение

Изучена ювенильная устойчивость и встречаемость *Lr*-генов у новых российских сортов озимой и яровой мягкой пшеницы, пополнивших Госреестр РФ в 2021 г. Молекулярными маркерами у них не обнаружены высоко- и частично эффективные ювенильные гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr41*, *Lr47*, *Lr66* и гены устойчивости взрослых растений *Lr21*, *Lr35*, однако в разной степени представлены малоэффективные гены *Lr1*, *Lr10*, *Lr20*, *Lr26* и гены устойчивости взрослых растений *Lr34* и *Lr37*. Эти гены встречались у сортов как по отдельности, так и в разных комбинациях. Данные о встречаемости *Lr*-генов у новых сортов согласуются с полученными нами ранее результатами (Gulyaeva et al., 2021).

Сохраняется тенденция увеличения в России числа сортов озимой мягкой пшеницы с полевой устойчивостью к бурой ржавчине. Молекулярный анализ показал отсутствие у них высоко- и частично эффективных *Lr*-генов устойчивости, при этом широко был представлен ген *Lr34* в разных комбинациях с малоэффективными ювенильными генами *Lr3*, *Lr10* и *Lr26*. Возделывание сортов с полевой устойчивостью позволит стабилизировать популяции патогена путем снижения его репродуктивной способности, но не полной элиминации. Кроме того, в центральных регионах России отмечается появление в районировании озимых сортов с геном устойчивости взрослых растений *Lr37*.

Что касается сортимента яровой мягкой пшеницы, то в нем увеличивается число сортов, для которых использована стратегия пирамидирования генов, утративших по отдельности свою эффективность. К числу таких сортов относится 'Омская 44' с генами *Lr1*, *Lr3*, *Lr19* и *Lr26*.

References / Литература

- Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. 2008. [in Russian] (Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения / под ред. А.Н. Афонина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. [Интернет-версия 2.0]. 2008). URL: <http://www.agroatlas.ru> [дата обращения: 18.05.2022].
- Agabayeva A.Ch., Rsaileyev Sh.S. Pathogenic characteristics of wheat leaf rust pathogen (*Puccinia triticiana* Erikss.) in Kazakhstan. *News of Kazakhstan Science*. 2013;1. [in Russian] (Арабаева А.Ч., Рсалиев Ш.С. Патогенные свойства возбудителя листовой ржавчины пшеницы (*Puccinia triticiana* Erikss.) в Казахстане. *Новости науки Казахстана*. 2013;1). URL: <http://www.vestnik.nauka.kz/kz/selskoe-i-lesnoe-xozyajstvo/patogennye-svoystva-vozbuditelya-listovoj-rzhavchiny-pshenicy-puccinia-triticiana-eriks-v-kazakhstane.php> [дата обращения: 20.05.2022].
- Bespalova L.A., Kudryashov I.N., Aulov A.N., Ponomarev D.A., Komanov E.A. Varietal structures – system factor of intensification of selection and production of wheat. *Zemledelie = Agriculture*. 2014;(5):41-43. [in Russian] (Беспалова Л.А., Кудряшов И.Н., Аулов А.Н., Пономарев Д.А., Команов Е.А. Сортотипы – системный фактор интенсификации селекции и производства зерна пшеницы. *Земледелие*. 2014;(5):41-43).
- Brown-Guedira G., Singh S. . Mas Wheat. Marker Assisted Selection in Wheat. Leaf rust resistance gene *Lr39*: [site]. Available from: <https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr39> [accessed on Mar. 22, 2022].
- Chelkowski J., Golka L., Stepien L. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher. *Journal of Applied Genetics*. 2003;44(3):323-338.
- Cherukuri D.P., Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Singh R.B. et al. Molecular mapping of *Aegilops speltoides* derived leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. *Euphytica*. 2005;143(1):19-26. DOI: 10.1007/s10681-005-1680-6
- Dakouri A., McCallum B.D., Radovanovic N., Cloutier S. Molecular and phenotypic characterization of seedling and adult plant leaf rust resistance in a world wheat collection. *Molecular Breeding*. 2013;32(3):663-677. DOI: 10.1007/s11032-013-9899-8
- Dorokhov D.B., Klocke E. A rapid and economic technique for RAPD analysis of plant genomes. *Russian Journal of Genetics*. 1997;33(4):358-365. [in Russian] (Дорохов Д.Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов. *Генетика*. 1997;33(4):443-450).
- Fritz A. Mas Wheat. Marker Assisted Selection in Wheat. Leaf rust resistance gene *Lr21*: [site]. Available from: <http://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr21> [accessed on Mar. 22, 2022].
- Gulyaeva E.I., Sadovaya A.S., Shaydayuk E.L. Molecular-genetic screening of modern Russian common wheat varieties for leaf rust resistance. *Plant Protection News*. 2014;(1):26-29. [in Russian] (Гультьева Е.И., Садовая А.С., Шайдаук Е.Л. Молекулярно-генетический скрининг новых российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к бурой ржавчине *Вестник защиты растений*. 2014;(1):26-29).
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Identification of leaf rust resistance genes in the new Russian varieties of common wheat. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(2):15-27. [in Russian] (Гультьева Е.И., Шайдаук Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(2):15-27). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02
- Gulyaeva E.I., Shaydayuk E.L., Gannibal Ph.B. Leaf rust resistance genes in wheat cultivars registered in Russia and their influence on adaptation processes in pathogen populations. *Agriculture*. 2021;11(4):319. DOI: 10.3390/agriculture11040319
- Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Haq Q.M.R. Development and validation of molecular markers linked to an *Aegilops umbellulata*-derived leaf-rust-resistance gene, *Lr9*, for marker-assisted selection in bread wheat. *Genome*. 2005;48(5):823-830. DOI: 10.1139/g05-051
- Gupta S.K., Charpe A., Prabhu K.W., Haque Q.M.R. Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr19* in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;113(6):1027-1036. DOI: 10.1007/s00122-006-0362-7
- Helguera M., Khan I.A., Dubcovsky J. Development of PCR markers for wheat leaf rust resistance gene *Lr47*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000;100:625-631. DOI: 10.1007/s001220051524
- Helguera M., Khan I.A., Kolmer J., Lijavetzky D., Zhong-qi L., Dubcovsky J. PCR assays for the *Lr37-Yr17-Sr38* cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines. *Crop Science*. 2003;43(5):1839-1847. DOI: 10.2135/cropsci2003.1839
- Herrera-Foessel S., Singh R.P., Huerta-Espino J., William M., Rosewarne G., Djurle A. et al. Identification and mapping

- of *Lr3* and a linked leaf rust resistance gene in durum wheat. *Crop Science*. 2007;47(4):1459-1466. DOI: 10.2135/cropsci2006.10.0663
- Jaczewsky A.A. Plant diseases (phytopathology) (Bolezni rasteniy [fitopatologiya]). St. Petersburg: Author's edition; 1910. [in Russian] (Ячевский А.А. Бolestи растений (фитопатология). Санкт-Петербург: Издание автора; 1910).
- Kolmer J.A. Postulation of leaf rust resistance genes in selected soft red winter wheats. *Crop Science*. 2003;43(4):1266-1274. DOI: 10.2135/cropsci2003.1266
- Lagudah E.S., McFadden H., Singh R.P., Huerta-Espino J., Bariana H.S., Spielmeier W. Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;114(1):21-30. DOI: 10.1007/s00122-006-0406-z
- Mago R., Bariana H.S., Dundas I.S., Spielmeier W., Lawrence G.J., Pryor A.J., et al. Development of PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes *Sr24* and *Sr26* in diverse wheat germplasm. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(3):496-504. DOI: 10.1007/s00122-005-2039-z
- Mago R., Zhang P., Bariana H.S., Verlin U.K., Ellis J.G., Dundas I.S. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;119(8):1441-50. DOI: 10.1007/s00122-009-1146-7
- Marais G.F., Bekker T.A., Eksteen A., McCallum B., Fetch T., Marais A.S. Attempts to remove gametocidal genes co-transferred to common wheat with rust resistance from *Aegilops speltoides*. *Euphytica*. 2010;171(1):71-85. DOI: 10.1007/s10681-009-9996-2
- Markelova T.S. Study of the structure and variability of wheat leaf rust population in the Volga region (Izucheniye struktury i izmenchivosti populatsii buroy rzhavchiny pshenitsy v Povolzh'ye). No. 4-6. *AgroXXI*; 2007. [in Russian] (Маркелова Т.С. Изучение структуры и изменчивости популяции бурой ржавчины пшеницы в Поволжье. № 4-6. *АгроXXI*; 2007). URL: <https://www.agroxxi.ru/journal/20070406/20070406018.pdf> [дата обращения: 27.05.2022].
- McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts: an atlas of resistance genes. Dordrecht: Kluwer; 1995.
- Medvedeva A. Grain production in Russia 2020: Crop area structure and yields (Proizvodstvo zerna v Rossii 2020: struktura posevnykh ploshchadey i urozhaynost). *AgroXXI*; 2021. [in Russian] (Медведева А. Производство зерна в России 2020: структура посевных площадей и урожайность. *АгроXXI*; 2021). URL: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskhozhojajstvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploshchadei-i-urozhaynost.html> [дата обращения: 22.03.2022].
- Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Korenyuk E.A., Belan I.A. Dynamics of distribution of the wheat leaf rust pathotypes virulent to the cultivars with *Lr9* gene in Omsk region. *Mycology and Phytopathology*. 2012;46(6):397-400. [in Russian] (Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Кореньюк Е.А., Белан И.А. Динамика распространения патотипа возбудителя бурой ржавчины, вирулентного к сортам пшеницы с геном *Lr9* в Омской области. *Микология и фитопатология*. 2012;46(6):397-400).
- Neu C., Stein N., Keller B. Genetic mapping of the *Lr20-Pm1* resistance locus reveals suppressed recombination on chromosome arm 7AL in hexaploid wheat. *Genome*. 2002;45(4):737-744. DOI: 10.1139/g02-040
- Novozhilov K.V., Levitin M.M., Mikhailova L.A., Gulyaeva E.I. Principles of using source material in wheat breeding for resistance to leaf rust (Printsipy ispolzovaniya iskhodnogo materiala v selektsii pshenitsy na ustoychivost k buroy rzhavchine). *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 1998;(1):61-64. [in Russian] (Новожилов К.В., Левитин М.М., Михайлова Л.А., Гультяева Е.И. Принципы использования исходного материала в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 1998;(1):61-64).
- Odintsova I.G., Peusha H.O. Regarding composite of the locus *Lr23* controlling resistance to brown rust in wheat. On the complexity of the *Lr23* locus controlling wheat resistance to leaf rust. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1984;85:13-19. [in Russian] (Одинцова И.Г., Пеша Х.О. О сложности локуса *Lr23*, контролирующего устойчивость пшеницы к бурой ржавчине. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1984;85:13-19).
- Procunier J.D., Townley-Smith T.F., Fox S., Prashar S., Gray M., Kim W.K. et al. PCR-based RAPD/DGGE markers linked to leaf rust resistance genes *Lr29* and *Lr25* in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Genetics and Breeding*. 1995;49(1):87-92.
- Qiu J.W., Schürch A.C., Yahiaoui N., Dong L.L., Fan H.J., Zhang Z.J. et al. Physical mapping and identification of a candidate for the leaf rust resistance gene *Lr1* of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;115(2):159-168. DOI: 10.1007/s00122-007-0551-z
- Serfling A., Krämer I., Lind V., Schliephake E., Ordon F. Diagnostic value of molecular markers for *Lr* genes and characterization of leaf rust resistance of German winter wheat cultivars with regard to the stability of vertical resistance. *European Journal of Plant Pathology*. 2011;130:559-575. DOI: 10.1007/s10658-011-9778-2
- Shamanin V.P., Pototskaya I.V., Trushchenko A.Yu., Chursin A.S., Kuzmina S.P., Krotova L.A. Expanding the genetic diversity of the spring wheat gene pool (Rasshireniye geneticheskogo raznoobraziya genofonda yarovoy pshenitsy). *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012;5(91):13-16. [in Russian] (Шаманин В.П., Потоцкая И.В., Трущенко А.Ю., Чурсин А.С., Кузьмина С.П., Кротова Л.А. Расширение генетического разнообразия генофонда яровой пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012;5(91):13-16).
- Sibikeev S.N., Druzhin A.E. Prebreeding research of near-isogenic lines of spring bread wheat with a combination of translocations from *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. and *Aegilops ventricosa* Tausch. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(3):310-315. [in Russian] (Сибикеев С.Н., Дружин А.Е. Пребридинговые исследования почти изогенных линий яровой мягкой пшеницы с комбинацией транслокаций от *Agropyron elongatum* (Host.) P.B. и *Aegilops ventricosa* Tausch. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(3):310-315). DOI: 10.18699/VJ15.040
- Sibikeev S.N., Krupnov V.A. Evolution of leaf rust and protection from it in the Volga region (Evolutsiya listovoy rzhavchiny i zashchita ot nee pshenitsy v Povolzh'ye). *The Bulletin of Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov*. 2007;S(special edition):92-94. [in Russian] (Сибикеев С.Н., Крупнов В.А. Эволюция листовой ржавчины и защита от нее пшеницы в Поволжье. *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*. 2007;S(специальный выпуск):92-94).

- State Register for Selection Achievements. State Variety Commission: [site]. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений. Госсортокмиссия: [site], URL: <https://reestr.gossortrf.ru> [дата обращения: 06.04.2022].
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2022. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2022). URL: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/06/Реестр%20на%20допуск%202022.pdf> [дата обращения: 06.04.2022].
- Tyryshkin L.G., Gulyaeva E.I., Alpat'eva N.V., Kramer I. Identification of effective leaf-rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum*) using STS markers. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(6):662-666. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Гульяева Е.И., Алпат'ева Н.В., Крамер И. Идентификация эффективных генов устойчивости пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине с помощью STS-маркеров. *Генетика*. 2006;42(6):812-817). DOI: 10.1134/S1022795406060111
- Vavilov N.I. Materials on the issue of resistance of cereals against parasitic fungi (Materialy k voprosu ob ustoychivosti khlebnnykh zlakov protiv paraziticheskikh gribov). *Trudy selektsionnoy stantsii pri Moskovskom selskokho-*
- zyaystvennom institute = Proceedings of the Breeding Station at the Moscow Agricultural Institute*. 1913;(1):1-110. [in Russian] (Вавилов Н.И. Материалы к вопросу об устойчивости хлебных злаков против паразитических грибов. *Труды селекционной станции при Московском сельскохозяйственном институте*. 1913;(1):1-110).
- Weng Y., Azhaguvel P., Devkota R.N., Rudd J.C. PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat-rye translocations in wheat background. *Plant Breeding*. 2007;126(5):482-486. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x
- Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Belyakova S.V. Virulence of *Puccinia triticina* Erikss. population in non-chernozem area of Russia. *Agrarian Science*. 2019;1:137-141. [in Russian] (Жемчужина А.И., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Белякова С.В. Вирулентность популяций *Puccinia triticina* Erikss. в нечерноземной полосе России. *Аграрная наука*. 2019; 1:137-141). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-137-141
- Zhemchuzhina A.I., Nazarova L.N., Dymchenko A.M. Leaf rust resistance in winter wheat varieties (Ustoychivost sortov ozimoy pshenitsy k buroy rzhavchine). *Selektiya i semenovodstvo = Breeding and Seed Production*. 1992;(1):6-11. [in Russian] (Жемчужина А.И. Назарова Л.Н., Дымченко А.М. Устойчивость сортов озимой пшеницы к бурой ржавчине. *Селекция и семеноводство*. 1992;(1):6-11).

Информация об авторах

Елена Ивановна Гульяева, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eigulyaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Екатерина Львовна Шайдаюк, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Виктория Владимировна Веселова, бакалавр ЛГУ им. А.С. Пушкина, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, vika-veselova-2015@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7961-4627>

Регина Евгеньевна Смирнова, бакалавр ЛГУ им. Пушкина, лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, regina.smirnova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3119-3453>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Анида Галиевна Хакимова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

Ольга Павловна Митрофанова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

Information about the authors

Elena I. Gulyaeva, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eigulyaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7948-0307>

Ekatерina L. Shaydayuk, Cand. Sci. (Biology) Associate Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, eshaydayuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-6272>

Viktoriya V. Veselova, Bachelor of the Pushkin Leningrad State University, Laboratory Research Assistant, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, vika-veselova-2015@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7961-4627>

Regina E. Smirnova, Bachelor of the Pushkin Leningrad State University, Laboratory Research Assistant, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, regina.smirnovaa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3119-3453>

Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.zuev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Anida G. Khakimova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, a.hakimova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0481-8462>

Olga P. Mitrofanova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.mitrofanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9171-2964>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.07.2022; одобрена после рецензирования 29.08.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 07.07.2022; approved after reviewing on 29.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.



Мониторинг капустной моли (*Plutella xylostella* L.) на коллекции капусты в окрестностях Санкт-Петербурга

Ю. А. Захарова¹, А. Н. Фролов¹, А. М. Артемьева²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Александровна Захарова, yzharova@vizr.spb.ru

Актуальность. Капустная моль *Plutella xylostella* L. приобрела в настоящее время статус самого опасного вредителя растений сем. Brassicaceae в мире, в том числе в России. С целью выявления устойчивых форм растений к вредителю в окрестностях г. Санкт-Петербурга проведена полевая оценка образцов капусты из мировой коллекции ВИР по заселенности и поврежденности растений капустной молью.

Материалы и методы. Заселенность растений капустной молью оценивали на модельных образцах при осмотре всех растений на делянке по (1) количеству гусениц и куколок, (2) поврежденности листьев, используя стандартную балльную шкалу. Численность имаго контролировали с помощью клеевых ловушек типа «Дельта» двух конструкций: (1) картонных, снабженных коммерческими диспенсерами с синтетическим половым феромоном, и (2) пластиковых светодиодных ловушек, сконструированных в ВИЗР.

Результаты. Результаты полевых учетов свидетельствуют об очень высокой вариации образцов капусты по заселяемости и повреждаемости растений капустной молью. Данные по численности имаго вредителя, полученные с помощью феромонных ловушек, хорошо коррелировали с оценками плотности преимагинальных стадий вредителя на растениях. Уловистость светодиодных ловушек очень сильно варьировала в течение сезона. В июне – начале июля, то есть в период «белых» ночей, светодиодные ловушки ловили имаго капустной моли гораздо слабее феромонных, но во второй половине июля – августе их уловистость существенно превышала таковую феромонных. В итоге связь между оценками численностей преимагинальных стадий развития на растениях и имаго в светодиодных ловушках оказалась отрицательной.

Заключение. Полученные материалы свидетельствуют о несомненной перспективности изучения мировой коллекции ВИР на предмет выявления источников устойчивости к капустной моли, мониторинг численности которой в северных регионах обитания вредителя рекомендуется проводить с использованием феромонных ловушек.

Ключевые слова: растение, сортообразец, насекомое, половой феромон, светодиод, ловушка

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-26-00199). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Захарова Ю.А., Фролов А.Н., Артемьева А.М. Мониторинг капустной моли (*Plutella xylostella* L.) на коллекции капусты в окрестностях Санкт-Петербурга. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):219-228. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-219-228

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-219-228

Monitoring of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) on the *Brassica oleracea* L. collection in the vicinity of St. Petersburg

Yu. A. Zakharova¹, A. N. Frolov¹, A. M. Artemyeva²¹ All-Russian Research Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Yulia A. Zakharova, yzakharova@vizr.spb.ru

Background. Diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) has now acquired the status of the most dangerous pest of plants from the Brassicaceae family in the world, including Russia. In order to identify genotypes resistant to the pest, cabbage accessions from the VIR global collection were assessed in the field according to plant infestation and damage by diamondback moth in the vicinity of St. Petersburg.

Materials and methods. The infestation of plants by diamondback moth was assessed on model accessions when examining all plants in the plot by (1) the number of larvae and pupae, and (2) leaf damage, assessed using a standard scoring scale. The number of adults was monitored using sticky Delta traps of two designs: (1) cardboard traps equipped with commercial dispensers with synthetic sex pheromone, and (2) plastic LED traps designed at VIZR.

Results. The results of field surveys attested to very high variation among cabbage accessions in the rates of infestation and damage to plants caused by diamondback moth. The data on the abundance of adults caught by pheromone traps correlated well with the estimates of larval and pupal density of the pest on plants. The capture rate of diamondback moths with LED traps varied greatly during the season. In June/early July, i.e., during the period of the so called “white” nights, LED traps caught diamondback moths much worse than pheromone ones, but during the second half of July and August their capture rate significantly exceeded that of pheromone traps. As a result, the relationship between numbers of diamondback moth larvae on plants and adults in LED traps turned out to be negative.

Conclusion. The resulting materials indicate obvious prospects of studying the VIR global collection in order to identify sources of host plant resistance to diamondback moth. The abundance of this pest in northern regions of its spreading is recommended to be controlled with pheromone traps.

Keywords: plant, accession, insect, sex pheromone, LED, trap

Acknowledgements: the research was supported by the grant from the Russian Science Foundation (Project No. 22-26-00199). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Zakharova Yu.A., Frolov A.N., Artemyeva A.M. Monitoring of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) on the *Brassica oleracea* L. collection in the vicinity of St. Petersburg. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):219-228. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-219-228

Введение

Капустная моль *Plutella xylostella* L (Lepidoptera: Plutellidae) в последние десятилетия практически повсеместно приобрела статус наиболее опасного вредителя растений семейства капустных (Furlong et al., 2013; Philips et al., 2014; Li et al., 2016; Fathipour, Mirhosseini, 2017; Gautam et al., 2018), включая территорию России, причем уровень ущерба от ее вредной деятельности продолжает неуклонно расти (Andreeva et al., 2021). Так, если до середины прошлого века капустную моль редко рассматривали в качестве серьезного вредителя, то уже к 90-м годам прошлого столетия затраты на борьбу с этим насекомым в мире оценивались в 1 миллиард долларов США ежегодно (Talekar, Shelton, 1993), а спустя два десятилетия эта оценка выросла как минимум до 4-5 миллиардов долларов (Zalucki et al., 2012).

Выполненные в России и за рубежом многочисленные исследования свидетельствуют о широкой изменчивости видов и сортов кормовых растений, в том числе капусты, по степени их заселяемости и повреждаемости капустной молью, а также воздействию на выживаемость и биологические свойства насекомого, то есть по антибиотическим свойствам и уровню антиксеноза растений (Asyakin, Ivanova, 1988; Hamilton et al., 2005; Sarfraz et al., 2007; Fathi et al., 2011; Fathipour et al., 2019; Bagrov et al., 2020).

Наиболее популярная овощная культура в России – капуста. Мировая коллекция капусты ВИР представляет собой ценнейший источник генетического материала, в том числе по устойчивости к разнообразным биотическим и абиотическим стрессовым факторам (Artemyeva, Chesnokov, 2012), в связи с чем перспективность ее изучения на предмет выявления источников и доноров устойчивости к капустной моли не вызывает сомнений. Однако для того, чтобы эффективно осуществлять изучение коллекционного материала по повреждаемости растений вредным насекомым на естественном фоне заселения, необходимо прежде всего определиться с выбором технологии мониторинга сезонных колебаний численности вредного объекта.

Благодаря уникальным свойствам (селективности действия, высокой эффективности, низкой токсичности, высокой летучести и слабой персистентности), синтетические аналоги феромонов приобрели огромную популярность в качестве средств фитосанитарного мониторинга вредных насекомых (Ryatnova et al., 2016). Начиная с 1970-х годов, мониторинг капустной моли, как правило, осуществляют с помощью ловушек, снабженных синтетическими половыми феромонами (Chisholm et al., 1983; Hallett et al., 1995; Kuwahara et al., 1996; Reddy, Urs, 1996; Sulifoa, Ebenebe, 2007; Evenden, Gries, 2010; Miluch et al., 2013, 2014; Semerenko, 2019; Bobreshova et al., 2020).

Несмотря на кажущуюся простоту практического применения, половые феромоны чешуекрылых не лишены серьезного недостатка, ибо привлекают лишь самцов, прогностическая ценность которых существенно уступает таковой самок, ведь вредоносное поколение появляется из откладываемых самками яиц, к плотности которых численность самцов имеет весьма опосредованное отношение (Witzgall et al., 2010). Поэтому неудивительно, что порой появляются сообщения о том, что плотность бабочек, отловленных ловушками с половым феромоном, не коррелирует с плотностью вредящих растениям гусениц (Miluch et al., 2013). Решение проблемы недостаточно эффективного мониторинга вредителя

с помощью полового феромона лежит в области использования в ловушках таких приманок, которые были бы аттрактивны для имаго обоих полов, что достигается, например, при использовании в качестве приманки химических соединений растительного происхождения, аттрактивных для яйцекладущих самок (Li et al., 2012). Привлечения в ловушки особей обоих полов можно также достичь благодаря использованию эффекта аттракции насекомых искусственными источниками света. Давно известно, что активные в сумеречное и ночное время суток имаго капустной моли энергично летят на свет (Williams, 1939).

Хотя световые ловушки в качестве средства мониторинга вредных насекомых используются более 150 лет, широкому их использованию препятствовали громоздкость конструкций и энергозависимость от источника питания. В последние годы ситуация изменилась благодаря появлению светодиодной техники, имеющей малые размеры, высокую энергоэффективность и длительный срок службы.

Впрочем, как средство мониторинга световые ловушки, равно как и феромонные, не лишены определенных недостатков. Так, хотя световые ловушки обеспечивают в целом значительно большие объемы вылова особей целевых объектов мониторинга, их аттрактивная способность сильнее варьирует от года к году, и кроме того, они неизбирательны в отношении видового состава насекомых и потому потенциально способны нанести определенный ущерб полезной энтомофауне (Frolov et al., 2021).

Цель настоящей работы – оценить достоинства и недостатки светодиодных и феромонных ловушек при мониторинге капустной моли на капусте в окрестностях Санкт-Петербурга, а также оценить перспективы изучения мировой коллекции ВИР по заселяемости и повреждаемости растений капустной молью.

Материал и методы

Мониторинг капустной моли проводили на опытном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР, Санкт-Петербург, г. Пушкин) в 2020–2021 гг. (59°42'51" с. ш. и 30°23'47" в. д.), расположенной на Приневской низине левого берега р. Невы.

В 2020 г. площадь участка, занятого коллекцией капусты ВИР, составила 1512 м². Предшественники – кабачок, тыква. Высадка рассады капусты была произведена 2-3 июня, через 2 недели провели подкормку аммиачной селитрой. Всего было высажено 212 образцов капусты (белокочанная, краснокочанная, листовая, брюссельская, цветная, брокколи), представленных зарубежными и отечественными сортами и гибридами. Ширина междурядий – 70 см. Расстояние между растениями – 60 см. Количество растений на делянке – 20, без повторностей. В процессе выращивания проводили прополки, рыхления, междурядные обработки до смыкания листьев, подкормку аммиачной селитрой.

В 2021 г. площадь участка, занятого коллекцией капусты ВИР, составила 1666 м². Предшественники – кабачок, тыква. Растения выращивали через рассаду, без пикировки, в кассетах. Перед высадкой в поле рассада была обработана препаратом Актара, в грунт внесены навоз и минеральные удобрения. Высадку рассады в поле производили 2-3 июня. Через 2 недели после высадки осуществляли подкормку аммиачной селитрой. Всего на участке было высажено 269 образцов капусты (белокочанная,

краснокочанная, савойская, кольраби, листовая, брюссельская, цветная, брокколи), представленных зарубежными и отечественными сортами и гибридами. Ширина междурядий – 70 см. Расстояние между растениями – 60 см. Количество растений на делянке – 20, без повторностей. В процессе выращивания проводили прополки, рыхления, междурядные обработки до смыкания листьев, подкормку аммиачной селитрой.

Для мониторинга имаго капустной моли использовали клеевые ловушки типа «Дельта» двух конструкций: (1) картонные, снабженные коммерческими диспенсерами с синтетическим половым феромоном капустной моли, производства компании ООО «Феромон», и (2) сходные с ними по форме и размерам пластиковые светодиодные ловушки, сконструированные во Всероссийском институте защиты растений (ВИЗР) (Miltyn et al., 2020). Последние были снабжены съемной кассетой с двумя УФ-светодиодами пиковой мощности 3 Вт каждый, испускающими свет длиной волны 365–370 нм в противоположные друг от друга стороны вдоль корпуса ловушки. Источником питания служили 6 аккумуляторов 1,2 В, 2200 мА/час, а управляющим устройством – микроконтроллер Attiny 13А, который позволял автоматически перепрограммировать порог срабатывания ловушки по освещенности. На дно ловушек обеих конструкций помещали стандартные по размерам (170 × 100 мм²) клеевые вкладыши производства ООО «Феромон».

Ловушки размещали на кольях на расстоянии не ближе 10 м друг от друга, а также от края поля, занятого капустой, тремя рандомизированными блоками сразу после высадки рассады капусты в грунт. До попадания первых особей капустной моли в ловушки последние осматривали ежедневно, последующие учеты проводили дважды в неделю. Во время осмотра ловушек подсчитывали и удаляли с клеевых вкладышей пойманных имаго, одновременно меняли в светодиодных ловушках аккумуляторы для их подзарядки. Замену вкладышей осуществляли по мере необходимости, а феромонные диспенсеры в ловушках меняли 1 раз в месяц.

Заселенность и поврежденность образцов капусты гусеницами капустной моли оценивали на модельных образцах при осмотре всех растений на делянке по (1) количеству гусениц и куколок, а также (2) поврежденности листьев капусты, оцененной по 6-балльной шкале согласно известной методике (Asyakin et al., 2001):

0 баллов – повреждения отсутствуют;

1 балл – следы повреждений, потеря 5% листовой поверхности;

2 балла – слабая поврежденность, потеря от 5 до 25% листовой поверхности (в среднем около 15%);

3 балла – средняя поврежденность, потеря от 25 до 50% листовой поверхности (в среднем около 30%);

4 балла – сильная поврежденность, потеря от 50 до 75% листовой поверхности (в среднем около 50%);

5 баллов – очень сильная поврежденность, потеря от 75 до 100% листовой поверхности (в среднем около 75%).

Средневзвешенный балл поврежденности листьев каждого образца оценивали по формуле:

$$P = \frac{(P1 \times 1) + \dots + (P5 \times 5)}{N},$$

где P – средневзвешенный балл поврежденности; P1 – P5 – количества растений с повреждениями листьев, оцениваемыми баллами 1...5 соответственно; N – количество растений в пробе.

Статистический анализ полученных данных проводили с помощью Tibco Statistica 13.5. Перед проведением анализа фактические значения плотностей насекомых преобразовывали по формуле $(x + 0,5)^{1/2}$ согласно известным рекомендациям (Roelofs, Cardé, 1977).

Результаты

Динамика отлова имаго капустной моли феромонными и светодиодными ловушками в 2020 и 2021 г. представлена на рисунке 1, свидетельствующем, что хотя в июне – начале июля аттрактивность феромонных ловушек существенно превышала таковую светодиодных, уже с середины августа светодиодные ловушки ловили намного больше имаго вредителя, чем феромонные.

Важно отметить, что среди насекомых, отловленных установленными на поле капусты светодиодными ловушками, абсолютно преобладали особи капустной моли, то есть целевой объект мониторинга (рис. 2).

Результаты полевой оценки поврежденности ряда коллекционных образцов капусты, выполненной в 2021 г., представлены в таблице 1.

Декадные данные усредненных значений плотностей гусениц и куколок капустной моли на растениях капусты и отловов имаго капустной моли (табл. 2) использовали для расчета корреляций. Связь между численностями особей преимагинальных стадий на растениях и имаго, отловленных феромонными ловушками, оказалась положительной и высокодостоверной ($r = 0,864$, $p_a = 0,01$). Статистическую достоверность отрицательной зависимости между численностями особей преимагинальных стадий и отловленных светодиодными ловушками имаго доказать не удалось ($r = -0,636$, $p_a = 0,12$).

Обсуждение результатов

Уже первые полученные результаты свидетельствуют о значительной вариации коллекционных образцов капусты по заселяемости и повреждаемости капустной молью. Так, в испытаниях 2021 г. два образца, а именно белокочанная 'Глория Стар F1' (фирма Syngenta) и красная листовая 'Кале' (Россия), вообще не повреждались капустной молью. Следует отметить, что разновидность капусты огородной «листовая капуста» в среднем устойчива как к специализированным вредителям капустных культур (капустные моль, белянка, муха), так и общим вредителям овощных культур (капустная совка). Слабую поврежденность листьев (0–1 балл) обнаружили 14 образцов – белокочанная капуста: 'Kilastress F1' (Швейцария), 'Globe Jellows Resistant' (США), 'Молоканка' (Краснодарский край), 'Сахарная гора F1' (фирма Седек), 'Таага F1' (фирма Седек), 'Надзея' (Беларусь), 'Оригами F1' (Испания) – то есть как староместный жароустойчивый сорт с сильным восковым налетом ('Молоканка'), так и новейшие гибриды отечественной и зарубежной селекции; цветная капуста: 'Telergy F1' (Нидерланды), 'Sutton's Autumn Protecting' (Великобритания), 'Inca' (Нидерланды), 'Esno 13' (Индия), 'Newton Seale' (Великобритания); савойская капуста: 'Vertus-Verius' (Германия), 'Фиолетовое кружево' (Россия). По предварительным данным, савойская капуста в целом в слабой степени повреждается листогрызущими вредителями, возможно, вследствие сильной пузырчатости листьев. Умеренной поврежденностью листьев (1–2 балла) характеризовались 9 образцов – белокочанная капуста: 'Азиатский экспресс F1'

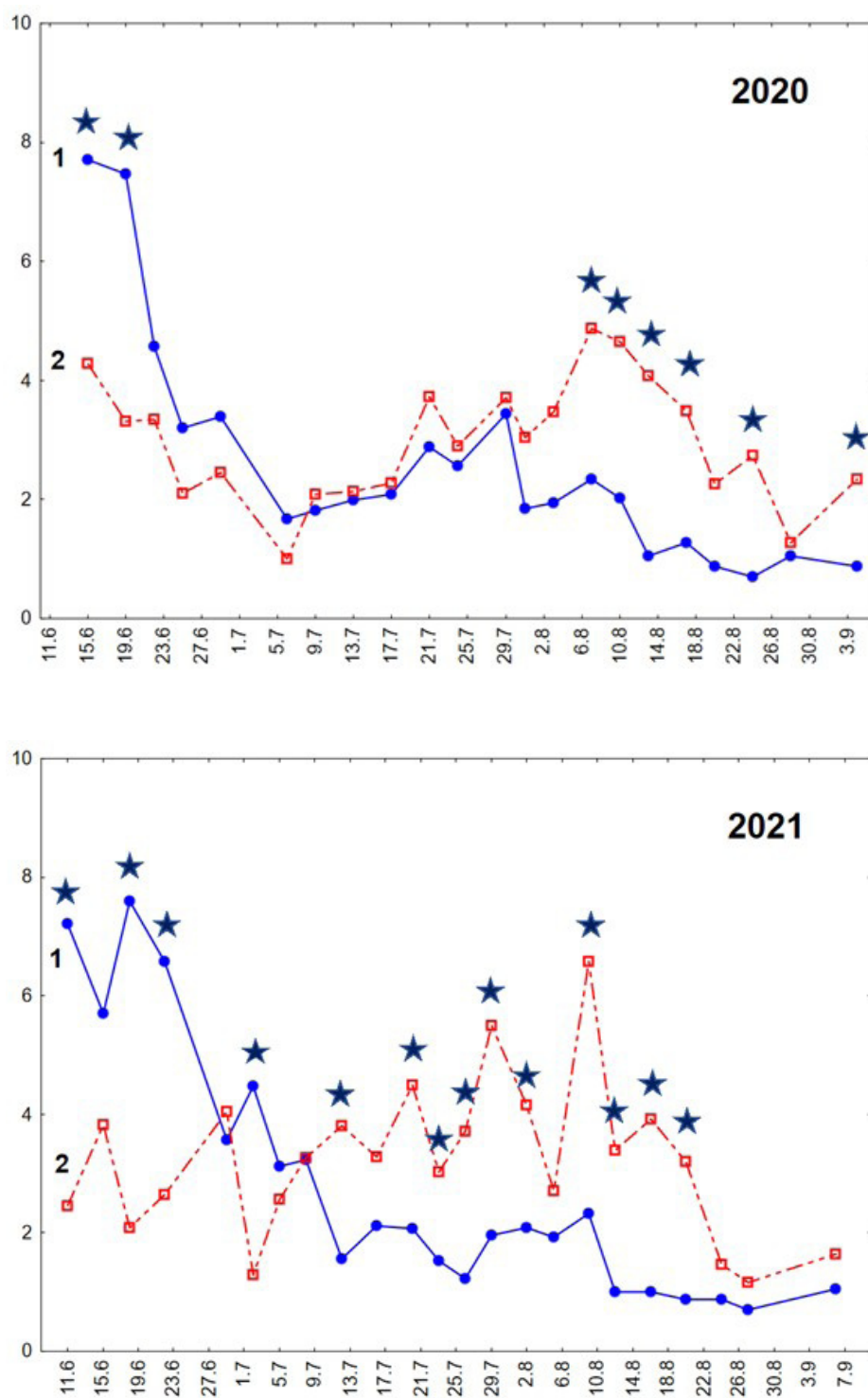


Рис. 1. Динамика вылова имаго капустной моли феромонными (1) и светодиодными (2) ловушками в 2020 и 2021 г.

По оси абсцисс – даты учетов, по оси ординат – количество пойманных имаго $(x + 0,5)^{1/2}$ в расчете на 1 ловушку. Звездочками обозначены учеты, при проведении которых количества насекомых, отловленных в феромонные и светодиодные ловушки, достоверно отличались согласно t-критерию Стьюдента при $p_a \leq 0,05$ (ППЛ ВИР, 2020 и 2021 гг.)

Fig. 1. Dynamics of capturing diamondback moth adults with pheromone (1) and LED (2) traps in 2020 and 2021. X axis – recording dates, Y axis – mean numbers of diamondback moth adults captured $(x + 0,5)^{1/2}$ per 1 trap. Asterisks mark significant differences according to Student's t-test at $p_a \leq 0.05$ (PPL VIR, 2020 and 2021)



Рис. 2. Клеевой вкладыш с отловленными имаго капустной моли, извлеченный из установленной на поле капусты светодиодной ловушки

Fig. 2. An adhesive insert with captured diamondback moth adults removed from the LED trap installed in the field of *Brassica oleracea* cultivars

Таблица 1. Результаты полевой оценки образцов капусты на поврежденность капустной молью (ППЛ ВИР, 2021 г.)

Table 1. Damage scores of *Brassica oleracea* cultivars caused by diamondback moth larvae in the field (PPL VIR, 2021)

Культура / Crop	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сортообразец / Cultivar accession	Средневзвешенный балл поврежденности листьев / Mean leaf damage score
Белокочанная / White cabbage	вр.2298	Глория Стар F1	0
	вр.2317	Kilastress F1	0,36
	вр.2258	Оригами F1	0,61
	2772	Надзеля	0,75
	вр.2287	Сахарная гора F1	0,77
	1741	Молоканка	0,9
	вр.2284	Гаара F1	0,96
	1644	Globe Jellows Resistant	1
	вр.2263	Prestar F1	1,27
	вр.2313	Rosberg F1	1,46
	вр.2288	Тулуза F1	1,46
	вр.2283	Азиатский экспресс F1	1,57
	вр.2259	Ферро	1,67
	вр.2314	Lauda F1	1,67
	вр.2306	Bejo 3157 F1	2,11
	вр.2294	местный сорт, Армения	2,37
	вр.2304	Рингтон F1	3,79

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Культура / Crop	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Сортообразец / Cultivar accession	Средневзвешенный балл поврежденности листьев / Mean leaf damage score
Цветная / Cauliflower	вр.1016	Telergy F1	0,36
	1001	Sutton's Autumn Protecting	0,4
	1117	Ecno 13	0,57
	942	Inca	0,75
	1047	Newton Seale	1
	800	Champion of England	1,64
Краснокочанная / Red cabbage	вр.201	Mohrenkopf	1,25
Савойская / Savoy cabbage	вр.215	Vertus-Verius	0,89
	вр.216	Фиолетовое кружево	1
Листовая / Kale	вр.290	Кале красная	0
	вр.297	Berza (MBG-BRS0031)	1,32

Таблица 2. Подекадные данные средних значений плотностей гусениц и куколок капустной моли на растениях капусты и отловленных феромонными и светодиодными ловушками имаго вредителя (ППЛ ВИР, 2021 г.)

Table 2. Mean estimates of the numbers of diamondback moth on *Brassica oleracea* plants and adults captured with pheromone and LED traps per a 10-day part of a month (PPL VIR, 2021)

Учеты / Monitoring		Плотность насекомых, $(x + 0.5)^{1/2}$ / Insect density, $(x + 0.5)^{1/2}$		
		Гусеницы и куколки на растениях / Larvae and pupae per plant	имаго в ловушках / of adults per 1 trap:	
Месяц / Month	Декада / 10 day period		феромонных / pheromone	светодиодных / LED
Июнь / June	2	1,574	7,524	8,907
	3	3,246	8,880	10,340
Июль / July	1	2,562	7,859	9,658
	2	2,929	7,236	10,232
	3	1,257	6,136	11,390
Август / August	1	1,057	6,309	13,003
	2	0,938	5,420	13,611

(фирма Седек), 'Rosberg F1' (Швейцария), 'Prestar F1' (фирма Takii Seed), 'Lauda F1' (Швейцария), 'Тулуза F1' (фирма «Седек»), 'Ферро' (фирма Monsanto); местный сорт листовой капусты кормового назначения с нежным листом и высоким содержанием сахаров: 'Berza' (MBG-BRS0031) (Испания); цветная капуста: 'Champion of England' (Великобритания); краснокочанная капуста: 'Mohrenkopf' (Турция), высоким уровнем повре-

жденности (2-3 балла) – 2 образца: белокочанная капуста: 'Вежо 3157 F1' (Нидерланды), местный сорт Армени, а максимально высоким (3,79 балла) – 1 образец: 'Рингтон F1' (фирма Syngenta).

Что касается мониторинга численности имаго капустной моли по данным отловов ловушками разных конструкций, то полученные результаты свидетельствуют о том, что снабженные синтетическим половым феромо-

ном ловушки обеспечивают получение данных, хорошо коррелирующих с оценками плотности преимагинальных стадий вредителя на растениях. Светодиодные ловушки обнаружили существенно более низкую аттрактивность в сравнении с феромонными в июне – начале июля, то есть в период «белых» ночей в Санкт-Петербурге, когда естественное освещение в ночное время остается достаточно высоким и ночь состоит лишь из сумерек. По завершении периода «белых» ночей привлекательность светодиодных ловушек для насекомых резко растет. В результате связь между оценками численностей преимагинальных стадий развития на растениях и имаго в ловушках оказывается, как это ни парадоксально, отрицательной.

Впрочем, испытания светодиодной техники позволили сделать весьма важный вывод: установленные на полях капусты светодиодные ловушки по спектру отловленных энтомологических объектов в негативную сторону существенно не отличались от феромонных, а именно в отношении их возможного отрицательного воздействия на нецелевую и особенно полезную энтомофауну, поскольку подавляющее большинство отловленных на свет насекомых представляли собой капустную моль (см. рис. 2).

Заключение

Капустная моль в последние десятилетия превратилась в одного из наиболее опасных вредителей капустных культур в мире. Первые результаты обследования отдельных образцов из мировой коллекции капусты ВИР свидетельствуют о перспективности ее изучения на предмет выявления образцов, устойчивых к капустной моли.

В условиях Санкт-Петербурга феромонные ловушки, в отличие от светодиодных, способны обеспечить надлежащий контроль численности вредителя на посадках капусты. При этом светодиодные ловушки могут оказаться полезными при мониторинге вредителя в южных регионах, где феномен «белых» ночей отсутствует.

Официально период «белых» ночей в Санкт-Петербурге длится с 11 июня по 2 июля, однако среди туристических компаний циркулирует иная точка зрения, имеющая очевидную коммерческую подоплеку, что этот период длится гораздо дольше, вплоть до 16–17 июля. Любопытно, что материалы сравнительных испытаний ловушек, представленные на рисунке 1, весьма недвусмысленно свидетельствуют о том, что с точки зрения капустной моли период «белых» ночей в Санкт-Петербурге все-таки завершается гораздо раньше – примерно к 8-9 июля, ибо до этих дат бабочки чаще привлекаются запахом полового феромона, а после – излучением светодиодов.

References / Литература

Andreeva I.V., Shatalova E.I., Khodakova A.V. The diamondback moth *Plutella xylostella*: ecological and biological aspects, harmfulness, population control. *Plant Protection News*. 2021;104(1):28-39. [in Russian] (Андреева И.А., Шаталова Е.И., Ходакова А.В. Капустная моль *Plutella xylostella*: эколого-биологические аспекты, вредоносность, контроль численности. *Вестник защиты растений*. 2021;104(1):28-39). DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-1-14947

Artemyeva A.M., Chesnokov Yu.V. Ecologic and geographic research of cabbage collection: from N.I. Vavilov till present days. *Proceedings of Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:128-136. [in Russian] (Артемьева А.М., Чесноков Ю.В. Эколого-географическое изучение коллекции капусты: от Н.И. Вавилова до наших дней. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:128-136).

Asyakin B.P., Ivanova O.V. Influence of resistant varieties on population characteristics of the main pests of cabbage (Vliyaniye ustoychivyykh sortov na populyatsionnye kharakteristiki osnovnykh vreditel'ey kapusty). In: N.A. Vil'kova (ed.). *Variability of insect pests in the conditions of scientific and technological progress in agriculture. Proceedings of scientific papers of the All-Union Research Institute of Plant Protection (Izmenchivost nasekomykh-vreditel'ey v usloviyakh nauchno-tekhnicheskogo progressa v selskom khozyaystve. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zashchity rasteniy)*. Leningrad; 1988. p.84-92. [in Russian] (Асякин Б.П., Иванова О.В. Влияние устойчивых сортов на популяционные характеристики основных вредителей капусты. В кн.: *Изменчивость насекомых-вредителей в условиях научно-технического прогресса в сельском хозяйстве. Сборник научных трудов Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений* / под ред. Н.А. Вилковой. Ленинград; 1988. С.84-92).

Asyakin B.P., Ivanova O.V., Bogdanov V.B., Pukhaev R.V. Methods for identifying varieties of cabbage resistant to major pests (Metodika vyyavleniya sortoobraztsov kapusty, ustoychivyykh k osnovnym vreditelyam). N.A. Vil'kova (ed.). St. Petersburg: VIZR; 2001. [in Russian] (Асякин Б.П., Иванова О.В., Богданов В.Б., Пухаев Р.В. Методика выявления сортообразцов капусты, устойчивых к основным вредителям / под ред. Н.А. Вилковой. Санкт-Петербург: ВИЗР; 2001).

Bagrov R.A., Deniskina N.F., Kostenko G.A. Results of assessment of white cabbage and napa cabbage for resistance to diamondback moth and cabbage moth. *Potato and Vegetables*. 2020;(7):37-40. [in Russian] (Баргов Р.А., Денискина Н.Ф., Костенко Г.А. Результаты оценки белокочанной и пекинской капусты на устойчивость к капустной моли. *Картофель и овощи*. 2020;(7):37-40). DOI: 10.25630/PAV.2020.22.26.006

Bobreshova I.Yu., Ryabchinskaya T.A., Stulov S.V., Pyatnova Yu.B., Karakotov S.D. Method of pheromone monitoring of the cabbage moth (*Plutella xylostella* L.) – dangerous pest of rape. *Agricultural Chemistry*. 2020;(7):68-75. [in Russian] (Бобрешова И.Ю., Рябчинская Т.А., Стулов С.В., Пятнова Ю.Б., Каракотов С.Д. Метод феромонного мониторинга капустной моли (*Plutella xylostella* L.) – опасного вредителя рапса. *Агрохимия*. 2020;(7):68-75). DOI: 10.31857/S0002188120050038

Chisholm M.D., Steck W.F., Underhill E.W., Palaniswamy P. Field trapping of diamondback moth *Plutella xylostella* using an improved four-component sex attractant blend. *Journal of Chemical Ecology*. 1983;9(1):113-118. DOI: 10.1007/BF00987775

Evenden M.L., Gries R. Assessment of commercially available pheromone lures for monitoring diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in canola. *Journal of Economic Entomology*. 2010;103(3):654-661. DOI: 10.1603/EC09339

Fathi S.A.A., Bozorg-Amirkalaei M., Sarfaraz R.M. Preference and performance of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on canola cultivars. *Journal of Pest Science*. 2011;84(1):41-47. DOI: 10.1007/s10340-010-0324-3

Fathipour Y., Kianpour R., Bagheri A., Karimzadeh J., Hosseini-navehd V. Bottom-up effects of *Brassica* genotypes on

- performance of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*. 2019;115:135-141. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.09.020
- Fathipour Y., Mirhoseini M.A. Diamondback moth (*Plutella xylostella*) management. In: G.V.P. Reddy (ed.). *Integrated Management of Insect Pests on Canola and Other Brassica Oilseed Crops*. Oxford; Boston, MA: CAB International; 2017. p.13-43. DOI: 10.1079/9781780648200.0013
- Frolov A.N., Grushevaya I.V., Kononchuk A.G. Modern types of traps for monitoring Lepidoptera: case study of the European corn borer. Monograph (Sovremennyye tipy lovushek dlya monitoringa cheshuyekrylykh na primere kukuruznogo motylka. Monografiya). V.I. Dolzhenko (ed.). St. Petersburg: Naukoyemkiye tekhnologii; 2021. [in Russian]. (Фролов А.Н., Грушевая И.В., Конончук А.Г. Современные типы ловушек для мониторинга чешуекрылых на примере кукурузного мотылька. Монография / под ред. В.В. Долженко. Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии; 2021).
- Furlong M.J., Wright D.J., Dosdall L.M. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. *Annual Review of Entomology*. 2013;58:517-541. DOI: 10.1146/annurev-ento-120811-153605
- Gautam M.P., Singh H., Kumar S., Kumar V., Singh G. Singh S.N. Diamondback moth, *Plutella xylostella* Linnaeus (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae) a major insect of cabbage in India: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018;6(4):1394-1399.
- Hallett R.H., Angerilli N.P., Borden J.H. Potential for a sticky trap monitoring system for the diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cabbages in Indonesia. *International Journal of Pest Management*. 1995;41(4):205-207. DOI: 10.1080/09670879509371950
- Hamilton A.J., Endersby N.M., Ridland P.M., Zhang J., Neal M. Effects of cultivar on oviposition preference, larval feeding and development time of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), on some *Brassica oleracea* vegetables in Victoria. *Australian Journal of Entomology*. 2005;44(3):284-287. DOI: 10.1111/j.1440-6055.2005.00468.x
- Kuwahara M., Keinmeesuke P., Shirai Y. Monitoring field populations with pheromone trap and seasonal trend of adult body size of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae), in Central Thailand. *Japan International Research Center for Agricultural Sciences Journal*. 1996;3:17-22.
- Li P., Zhu J., Qin Y. Enhanced attraction of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to pheromone-baited traps with the addition of green leaf volatiles. *Journal of Economic Entomology*. 2012;105(4):1149-1156. DOI: 10.1603/ec11109
- Li Z., Feng X., Liu S.S., You M., Furlong M.J. Biology, ecology, and management of the diamondback moth in China. *Annual Review of Entomology*. 2016;61:277-296. DOI: 10.1146/annurev-ento-010715-023622
- Miltsyn A.A., Grushevaya I.V., Kononchuk I.V., Malysh Yu.M., Tokarev Yu.S., Frolov A.N. Light trap for insect monitoring (Svetovaya lovushka dlya monitoringa nasekomykh). Russian Federation; utility model patent number: 195732; 2020. [in Russian] (Мильтсин А.А., Грушевая И.В., Конончук И.В., Малыш Ю.М., Токарев Ю.С., Фролов А.Н. Световая ловушка для мониторинга насекомых. Российская Федерация; патент на полезную модель № 195732; 2020).
- Miluch C.E., Dosdall L.M., Evenden M.L. Factors influencing male *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) capture rates in sex pheromone-baited traps on canola in Western Canada. *Journal of Economic Entomology*. 2014;107(6):2067-2076. DOI: 10.1603/EC13371
- Miluch C.E., Dosdall L.M., Evenden M.L. The potential for pheromone-based monitoring to predict larval populations of diamondback moth, *Plutella xylostella* L., in canola (*Brassica napus* L.). *Crop Protection*. 2013;45:89-97. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.11.023
- Philips C.R., Fu Z., Kuhar T.P., Shelton A.M., Cordero R.J. Natural history, ecology, and management of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), with emphasis on the United States. *Journal of Integrated Pest Management*. 2014;5(3):D1-D11. DOI: 10.1603/IPM14012
- Pyatnova Yu.B., Lebedeva K.V., Karakotov S.D. The insect pheromones: on service of plant protection. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2016;(5):37-40. [in Russian] (Пятнова Ю.Б., Лебедева К.В., Каракотов С.Д. Феромоны насекомых: на службе защиты растений. *Защита и карантин растений*. 2016;(5):37-40).
- Reddy G.V.P., Urs K.C.D. Studies on the Sex pheromone of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in India. *Bulletin of Entomological Research*. 1996;86(5):585-590. DOI: 10.1017/S0007485300039389
- Roelofs W.L., Cardé R.T. Responses of Lepidoptera to synthetic sex pheromone chemicals and their analogues. *Annual Review of Entomology*. 1977;22(1):377-405. DOI: 10.1146/annurev.en.22.010177.002113
- Sarfranz M., Dosdall L.M., Keddie B.A. Resistance of some cultivated Brassicaceae to infestations by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*. 2007;100(1):215-224. DOI: 10.1093/jee/100.1.215
- Semerenco S.A. Pheromonitoring of cabbage moth in rapeseed crops and a search of effective chemicals for pest control in the conditions of the Western Ciscaucasia. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2019;4(180):143-151. [in Russian] (Семеренко С.А. Феромониторинг капустной моли в посевах рапса ярового и поиск эффективных химических средств защиты от вредителя в условиях Западного Предкавказья. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2019;4(180):143-151). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-143-151
- Sulifoa J.B., Ebenebe A.A. Evaluation of pheromone trapping of diamondback moth (*Plutella xylostella*) as a tool for monitoring larval infestations in cabbage crops in Samoa. *The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences*. 2007;25(1):43-46. DOI: 10.1071/SP07007
- Talekar N.S., Shelton A.M. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*. 1993;38(1):275-301. DOI: 10.1146/annurev.en.38.010193.001423
- Williams C.B. An analysis of four years captures of insects in a light trap. Part I. General survey; sex proportion; phenology; and time of flight. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*. 1939;89(6):79-131. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1939.tb00738.x
- Witzgall P., Kirsch P., Cork A. Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*. 2010;36(1):80-100. DOI: 10.1007/s10886-009-9737-y
- Zalucki M.P., Shabbir A., Silva R., Adamson D., Liu S.S., Furlong M.J. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology*. 2012;105(4):1115-1129. DOI: 10.1603/ec12107

Информация об авторах

Юлия Александровна Захарова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, yzaharova@vizr.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9452-8548>

Андрей Николаевич Фролов, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3, entomology@vizr.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6942-9951>

Анна Майевна Артемьева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, akme11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>

Information about the authors

Yulia A. Zakharova, Cand. Sci. (Biology), Associate Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, yzaharova@vizr.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9452-8548>

Andrey N. Frolov, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, entomology@vizr.spb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6942-9951>

Anna M. Artemyeva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, akme11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26.07.2022; одобрена после рецензирования 27.08.2022; принята к публикации 01.12.2022.
The article was submitted on 26.07.2022; approved after reviewing on 27.08.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Сорта озимой ржи, умеренно устойчивые к спорынье

Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Люция Муллаахметовна Щеклеина, immunitet@fanc-sv.ru

Актуальность. Спорынья зерновых культур (возбудитель гриб *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) – прогрессирующее заболевание озимой ржи. Устойчивые к болезни сорта ржи отсутствуют, а селекционные методы защиты в РФ не разработаны.

Материалы и методы. Материалом для исследований послужили 97 сортов озимой ржи. Проведен биохимический анализ склероциев гриба, изучен состав и содержание эргоалкалоидов (ЭА) в склероциях *C. purpurea* из Кировской популяции, исследована связь между биометрией склероциев и содержанием ЭА, токсичностью и патогенностью *C. purpurea*. Применяли общеизвестные методы оценки устойчивости и анализа ЭА.

Результаты и выводы. Выделено 14 наименее поражаемых патогеном сортов: 'Флора', 'Кипрез', 'Графиня', 'Лика', 'Батист', 'Симфония', 'Гармония', 'Садко', 'Паром', 'Вираз', 'Саратовская 7', 'Волхова', 'Новая Эра', 'Подарок', которые могут быть использованы в селекции на устойчивость к спорынье. В склероциях *C. purpurea* идентифицированы три вида ЭА: эргокристин, эрготамин и его стереоизомер эргокристинин. Сорта 'Лика', 'Симфония' и 'Гармония' наименее поражаемы спорыньей, а формирующиеся на растениях этих сортов склероции не накапливают ЭА. Установлена достоверная ($r = 0,50-0,60$) зависимость между поражением и биометрическими показателями склероциев *C. purpurea*; между засоренностью зерна склероциями и их биометрией ($r = 0,63-0,78$). Выявлена слабая положительная связь ($r = 0,22$) между токсичностью и патогенностью *C. purpurea*. Обнаружена отрицательная связь между массой склероциев и накоплением в них ЭА ($r = -0,46$), что указывает на биологическую опасность мелких склероциев, попавших в семенные и продовольственные партии зерна.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., искусственная инокуляция, поражение, засоренность, биометрия склероциев, корреляционные связи

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания согласно тематическому плану по проекту № 0767-2019-0095 «Разработка и внедрение фундаментальных научных инновационных подходов, ориентированных на изучение и использование разнообразия генетических ресурсов, создание адаптивных генисточников озимой ржи с комплексным сочетанием улучшенных параметров селекционно-ценных признаков; на создание сортов озимой ржи северного экотипа целевого использования с повышенной зимостойкостью, стабильной продуктивностью, устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам; на разработку технологии производства современных сортов для повышения эффективности использования их продуктивного потенциала с учетом изменения климатических условий и нарастания фитопатогенной нагрузки для укрепления продовольственной безопасности страны и создания продуктов здорового питания».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Щеклеина Л.М., Шешегова Т.К. Сорта озимой ржи, умеренно устойчивые к спорынье. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):229-238. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-229-238

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-229-238

Winter rye cultivars moderately resistant to ergot

Lucia M. Shchekleina*, Tatiana K. Sheshegova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Corresponding author: Lucia M. Shchekleina, immunitet@fanc-sv.ru

Background. Cereal ergot caused by the fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. is a progressive disease of winter rye. There are no rye cultivars resistant to the disease, and breeding methods of protection have not been developed in Russia.

Materials and methods. The material for the research included 97 winter rye cultivars. A biochemical analysis of the sclerotia of the fungus was carried out, the composition and content of ergot alkaloids (EA) in the sclerotia of *C. purpurea* from the Kirov population were studied, and the relationship between the biometry of sclerotia and the EA content, toxicity and pathogenicity of *C. purpurea* was analyzed. Well-known methods of resistance assessment and EA analysis were applied.

Results and conclusions. Fourteen cultivars least affected by the pathogen were identified: 'Flora', 'Kiprez', 'Grafinya', 'Lika', 'Batist', 'Simfoniya', 'Garmoniya', 'Sadko', 'Parom', 'Virazh', 'Saratovskaya 7', 'Volkhova', 'Novaya Era', and 'Podarok'. They can be used in breeding for ergot resistance. Three types of EA were identified in *C. purpurea* sclerotia: ergocristine, ergotamine, and its stereoisomer ergocristinine. Cvs. 'Lika', 'Simfoniya' and 'Garmoniya' were the least affected by ergot, and the sclerotia formed on the plants of these cultivars did not accumulate EA. A significant ($r = 0.50-0.60$) correlation was found between lesions and biometric parameters of *C. purpurea* sclerotia, and between grain contamination with sclerotia and their biometrics ($r = 0.63-0.78$). A weak positive correlation ($r = 0.22$) was detected between the toxicity and pathogenicity of *C. purpurea*. A negative correlation was established between the weight of sclerotia and the accumulation of EA in them ($r = -0.46$), which indicated the biological danger of small sclerotia that got into the seed and food batches of grain.

Keywords: *Secale cereale* L., *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., artificial inoculation, lesion, infestation, sclerotia biometrics, correlations

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the State Task, research theme No. FSZS-2019-0095 "Development and implementation of fundamental scientific innovative approaches focused on the study and use of the diversity of genetic resources, generation of adaptable genetic sources of winter rye with a complex combination of improved parameters of traits valuable for breeding; on the development of winter rye cultivars of the northern ecotype for targeted use with increased winter hardiness, stable productivity, resistance to biotic and abiotic stressors; on the development of a technology for the production of modern cultivars to improve the efficiency of implementing their productive potential, taking into account changes in climatic conditions and an increase in phytopathogenic pressure to strengthen the country's food security and release healthy food products".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Shchekleina L.M., Sheshegova T.K. Winter rye cultivars moderately resistant to ergot. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):229-238. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-229-238

Введение

Серьезной фитосанитарной и биоэкологической проблемой в РФ и за рубежом становится нарастающее распространение на посевах зерновых культур спорыньи (возбудитель – гриб *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.) (Shchekleina, 2019; Kodisch et al., 2020b; Miedaner et al., 2021; Kobylansky, Solodukhina, 2021). В связи с ужесточением отечественных и зарубежных ГОСТов, которые не допускают наличия склероциев в семенах высших репродукций (Goncharenko, 2009; Miedaner, Geiger, 2015), проблема борьбы с болезнью приобрела приоритетное значение. Наиболее опасно присутствие склероциев в зерне, идущем на переработку, поскольку гриб является источником микотоксинов – эргоалкалоидов (ЭА) (Gagkaeva et al., 2012; Grusie et al., 2018). По данным канадских ученых (Scott et al., 1992), даже при 0,004-процентном содержании склероциев в продовольственной пшенице, в муке накапливается до шести видов ЭА, а при 0,03-процентном их общее количество увеличивается в 2,7 раза. Хотя способность *C. purpurea* продуцировать ЭА является наследственно закрепленным свойством, содержание и состав алкалоидов зависят от генотипа растения и климатических факторов (Pazoutova et al., 2000; Zvonkova et al., 2005; Miedaner, Geiger, 2015; Grusie et al., 2018). Наиболее распространенными алкалоидами *C. purpurea* являются эрготамин, эрготамин, эргокорнин, эргокриптин, эргозин и эргокристин (Wolff et al., 1983). Другими исследованиями (Pazoutova et al., 2000; Miedaner, Geiger 2015) отмечены значительные различия в спектре ЭА *C. purpurea* из различных географических регионов. Обнаружено также влияние местоположения посевов и погодных условий на концентрацию и спектр ЭА в склероциях. По данным немецких исследователей (Miedaner, Geiger 2015), в первый год обработки конидиями гриба посевов ржи в склероциях преобладали эрготамин (25%) и эргозин (18%), а на другой год – эргозин (25%) и эргокристин (24%). Кроме того, для каждого ЭА известны менее токсичные изомеры (Mainka et al., 2007). В связи с тем, что до сих пор вид и степень токсичности отдельных ЭА для животных неизвестны, для оценки токсичности используется общая концентрация ЭА.

Расширение ареала и повышение вредоносности спорыньи обусловлено рядом причин. Определенную опасность представляют неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения, в которых сохраняются и накапливаются инфекционные структуры *C. purpurea*. Много вопросов и к современным технологиям возделывания культур, направленным на минимизацию обработки почвы. В условиях нестабильности климатических факторов негативное влияние антропогенных и техногенных факторов на полевые биоценозы еще более усиливается. В Кировской области *C. purpurea* ежегодно инфицирует растения на половине посевной площади озимых зерновых культур. Доля зараженных растений в биоценозах ржи варьирует от 0,2% до 8,0% (Shchekleina, 2020; Sheshhegova et al., 2021).

Современные семяочистительные технологии не обеспечивают надежную защиту от попадания склероциев в семенной материал, поскольку физико-механические свойства зерна ржи и склероциев очень сходны (Sysuev et al., 2017). Одним из свойств, по которым спорынья отличается от ржи, является удельная масса, что позволяет использовать растворы соли определенной концентрации для отделения зерна от склероциев (Sysuev et al., 2019).

В пределах рода *Secale* L. практически отсутствуют источники устойчивости к спорынье, что значительно затрудняет селекцию (Ponomareva, Ponomarev, 2001; Shchekleina, Sheshhegova, 2020), а современные сорта ржи не изучены по устойчивости к болезни при искусственной инокуляции *C. purpurea*. Недостаточна информация о биохимических и иных механизмах устойчивости к *C. purpurea*, нет данных о структуре и содержании ЭА в Кировской популяции гриба. Цель нашего исследования – поиск слабовосприимчивых к спорынье сортов озимой ржи, на растениях которых формируются нетоксичные склероции *C. purpurea*.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2016–2021 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров). Материал для исследований – 29 перспективных сортов озимой ржи конкурсного испытания селекции ФАНЦ Северо-Востока, 25 отечественных сортов из других научно-исследовательских учреждений РФ и 43 образца из коллекции ВИР, в том числе низкопентозановые сорта: 'Подарок', 'Вавиловская', 'Янтарная', 'Берегиня', 'Красноярская универсальная'. Образцы изучали на фитопатологическом участке на делянках площадью 1 м² при норме высевы 250 всхожих зерен, в 2-кратной повторности. При создании инфекционного фона применяли авторскую методику (Sheshhegova et al., 2018) с использованием патогенных штаммов *C. purpurea* (Cl.p./16, P-18/с., P-19, P-20 м.р.) из рабочей коллекции лаборатории иммунитета и защиты растений. Инокулом в виде споровой суспензии с титром 10⁵ спор/мл вносили с помощью шприца в завязь цветков средней части колоса в фазу зеленых пыльников (51 по шкале Zadoks).

В фазу восковой спелости зерна (85 по шкале Zadoks) учитывали степень поражения растений (количество растений со склероциями в выборке) и засоренность зерна склероциями (весовое содержание склероциев в зерне), выраженные в процентах. Характеристику по устойчивости к спорынье давали на основании шкалы T. Miedaner et al. (2010), согласно которой при распространении болезни в посевах от 0 до 0,5% и наличии склероциев в анализируемой выборке от 0 до 0,01% сорт относится к высокоустойчивым; от 0,5% до 1,5% и от 0,01% до 0,10% – к среднеустойчивым; от 1,5% до 3,0% и от 0,10% до 0,30% и выше – к восприимчивым.

Для поиска возможной связи между проявлением спорыньи в посевах и токсичностью склероциев анализировали их длину и ширину. Замеры проводили при помощи штангенциркуля (ШЦ-I-0,125 0,1 КЛБ). Среднюю массу одного склероция определяли путем деления общей массы рожков на их количество.

Биохимический анализ склероциев у 20 разных по восприимчивости сортов ржи проведен на экспериментальной базе института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН – в ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований РАН» (ИБФМ РАН, г. Пущино). ЭА извлекали из одного грамма измельченных склероциев двумя методами. В первом случае склероции экстрагировали трижды 50-процентным водным раствором ацетона, содержащим H₂SO₄ для создания кислой среды (pH 4,5). Объединенный экстракт концентрировали на роторном испарителе до половины первоначального объема. В полученную водную фракцию вносили 25-процентный раствор аммиака до pH 9-10 и экстрагировали три раза хлороформом. Хлоро-

формные экстракты подсушивали безводным Na_2SO_4 и упаривали на ротаторном испарителе. Второй метод заключался в экстракции склероциев смесью хлороформа и метанола в соотношении 1 : 1. Анализ экстрактов осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках силикагеля (Silica gel F254, Merck, Германия) в системах: хлороформ – метанол – 25-процентный NH_4OH (90 : 10 : 0.1) (I) и (80 : 20 : 0.2) (II). ЭА обнаруживали по поглощению и флуоресценции в УФ-свете (264 и 360 нм) и после опрыскивания пластин реактивом Эрлиха. Выделение и очистку ЭА проводили препаративной ТСХ на пластинах силикагеля. Идентификацию метаболитов осуществляли сохроматографией со стандартными образцами и с помощью данных УФ-спектроскопии и масс-спектрометрии. УФ-спектры соединений в метаноле получали на спектрофотометре UV-160A (Shimadzu, Япония). Масс-спектры соединений регистрировали на квадрупольном масс-спектрометре LCQ Advantage MAX (Thermo Finnigan, Германия), используя одноканальный шприцевой насос для прямого ввода образца в камеру для химической ионизации при атмосферном давлении. Содержание суммарного количества ЭА в экстрактах определяли спектрофотометрически в метаноле при $\lambda = 313$ нм. Расчет вели используя коэффициент молярной экстинкции эрготамина ($\log \epsilon = 3.86$). Измерения каждого образца экстракта проводили не менее пяти раз.

Для статистической обработки результатов применяли пакет программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07) и пакет программ Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

Для инокуляции завязи использовали высокопатогенные штаммы *S. purpurea* (рис. 1). Культурально-морфологические признаки изолятов (цвет, структура воздушного и субстратного мицелия, топография колоний, размер и форма конидий) были в целом схожи друг с другом. Два штамма на картофельно-глюкозном агаре (КГА) отличались однородным белым войлочным мицелием, небольшой морщинистостью среды и в культуре имели две зоны: большую, состоящую из белого шерстистого мицелия, расположенного на морщинистой поверхности

среды, и зону по периферии с бежевым мицелием на ровной поверхности. Два других имели две зоны: краевую, состоящую из ровной поверхности, на которой тонким слоем распределяется белый мицелий, и центральную, отличающуюся морщинистостью поверхности среды с редкими на ней островками мицелия.

При искусственной инокуляции все сорта ржи оказались восприимчивы к спорынье, однако признак значительно варьировал ($V = 60\%$). Для селекции можно отобрать наименее поражаемые биотипы. Среди сортов селекции ФАНЦ Северо-Востока определенный интерес представляют районированные сорта 'Флора', 'Кипрез' и 'Графиня', переданные на Государственное испытание 'Лика' и 'Батист', а также новые популяции, проходящие конкурсное испытание: 'Симфония', 'Гармония' и 'Садко' (табл. 1). Степень поражения этих сортов варьировала от 32,4% до 46,4% при засоренности зерна склероциями 0,53%–2,54%. Поражение наиболее восприимчивого (индикаторного) сорта равнялось 95,0%, засоренность склероциями – 10,4%.

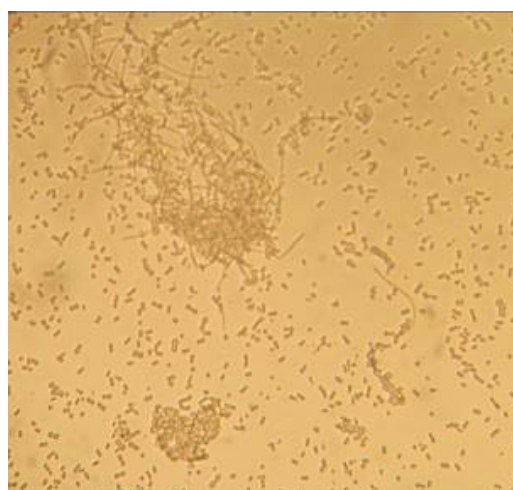
Поражение большинства сортов из других НИУ РФ в 2017 г. составило 100%. В среднем за годы изучения относительно меньше поражались и засорялись склероциями сорта 'Паром', 'Вираж', 'Саратовская 7' и 'Волхова'.

Коллекцию генетических ресурсов растений ВИР трактуют как базис исходного материала для селекции многих культур (Safonova et al., 2019). В наших исследованиях среди коллекционных образцов иммунологическую ценность по предварительным данным представляют 'Чулпан 2', 'Харьковская 60-2', 'Чулпан 4', 'Россиянка 2', 'Таловская 2', 'Волжанка 2', 'Новая Эра', 'Подарок', 'Рушник 2', 'Берегиня', 'МосВИР 12-244/16'. Коллекционные образцы были несколько более устойчивы к спорынье по сравнению с сортами селекции ФАНЦ Северо-Востока. Выделенные сорта могут быть использованы в селекции озимой ржи на повышение устойчивости к спорынье.

В 2018–2020 гг. для выявления возможной связи биометрических показателей склероциев с токсичностью *S. purpurea* провели анализ склероциев, собранных на 20 различающихся по восприимчивости сортах ржи. Общая масса склероциев с 1 м^2 у сортов селекции ФАНЦ Северо-Востока варьировала от 5,11 г ('Симфония') до



а



b

Рис. 1. Чистая культура гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.:
а – внешний вид колонии штамма, б – микрофотография культуры

Fig. 1. Pure culture of the fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul.:
а – appearance of the strain's colony, б – micrograph of the culture

Таблица 1. Наименее поражаемые спорыньей сорта озимой ржи
(искусственная инокуляция, г. Киров, 2016–2021 гг.)

Table 1. Winter rye cultivars least affected by ergot
(artificial inoculation, Kirov, 2016–2021)

Сорт / Cultivar	Поражение, % / Lesion, %	Засоренность зерна склеротиями, % / Contamination of grain with sclerotia, %
Сорта ФАНЦ Северо-Востока (2016–2021 гг.) / Cultivars of the FANC North-East (2016–2021)		
Флора	32,4 ± 6,30	1,57 ± 0,71
Кипрез	32,6 ± 6,15	0,70 ± 0,55
Графиня	37,9 ± 12,44	0,65 ± 0,55
Садко	39,3 ± 9,00	1,00 ± 0,77
Симфония	38,7 ± 10,48	0,65 ± 0,57
Лика	39,4 ± 8,50	0,53 ± 0,44
Батист	43,4 ± 10,13	2,54 ± 0,38
Гармония	46,4 ± 10,15	0,67 ± 0,52
Индикаторный сорт	95,0 ± 5,00	10,40 ± 7,50
Среднее по сортименту	58,0	3,24
Сорта других НИУ РФ (2016–2021 гг.) / Cultivars from other research centers (2016–2021)		
Паром	45,9 ± 0,85	6,20 ± 2,05
Вираз	50,1 ± 0,10	3,10 ± 0,20
Саратовская 7	52,0 ± 1,60	14,70 ± 3,50
Волхова	54,4 ± 1,60	14,25 ± 3,65
Индикаторный сорт	95,0 ± 5,00	35,40 ± 12,70
Среднее по сортименту	67,8	14,27
Образцы коллекции ВИР (2020–2021 гг.) / Accessions from the VIR collection (2020–2021)		
Чулпан 2	14,2	0,60
Харьковская 60-2	28,5	1,50
Чулпан 4	31,2	1,40
Россиянка 2	17,6	0,90
Таловская 2	25,0	1,90
Волжанка 2	33,3	1,70
Новая Эра	45,9 ± 0,85	2,30 ± 0,10
Подарок	42,9 ± 0,10	0,60 ± 0,30
Рушник 2	37,5	2,60
Берегиня	40,0	3,00
МосВИР 12-244/16	41,1	1,80
Индикаторный сорт	100,0	37,0
Среднее по сортименту	60,9	6,65

22,50 г ('Вятка 2'), у коллекционных образцов – от 0,75 г ('Подарок') до 13,45 г ('Вавиловская'). Следует отметить, что инфекционную нагрузку определяет не только количество склеротиев, но и их размер, поскольку крупные склеротии образуют больше стром с плодовыми телами. В наших исследованиях масса одного склеротия на сортах селекции ФАНЦ Северо-Востока изменялась от 0,09 г ('Симфония') до 0,23 г ('Ниоба'), на коллекционных образцах – от 0,05 г ('Подарок') до 0,16 г ('Берегиня') (рис. 2).

склеротии ('Ниоба', 'Грация', 'Графит', 'Перепел', 'Садко', 'Батист', 'Берегиня'), сорта с относительно мелкими склеротиями ('Подарок', 'Симфония', 'Ли́ка', 'Триумф', 'Сара', 'Гармония', 'Вятка 2', 'Фалёнская 4', 'Янтарная', 'Вавиловская'), сорта с наиболее крупными и многочисленными склеротиями ('Грация', 'Перепел', 'Ниоба', 'Берегиня') и сорта с немногочисленными и относительно мелкими склеротиями ('Подарок', 'Симфония', 'Гармония', 'Ли́ка', 'Рушник 2').

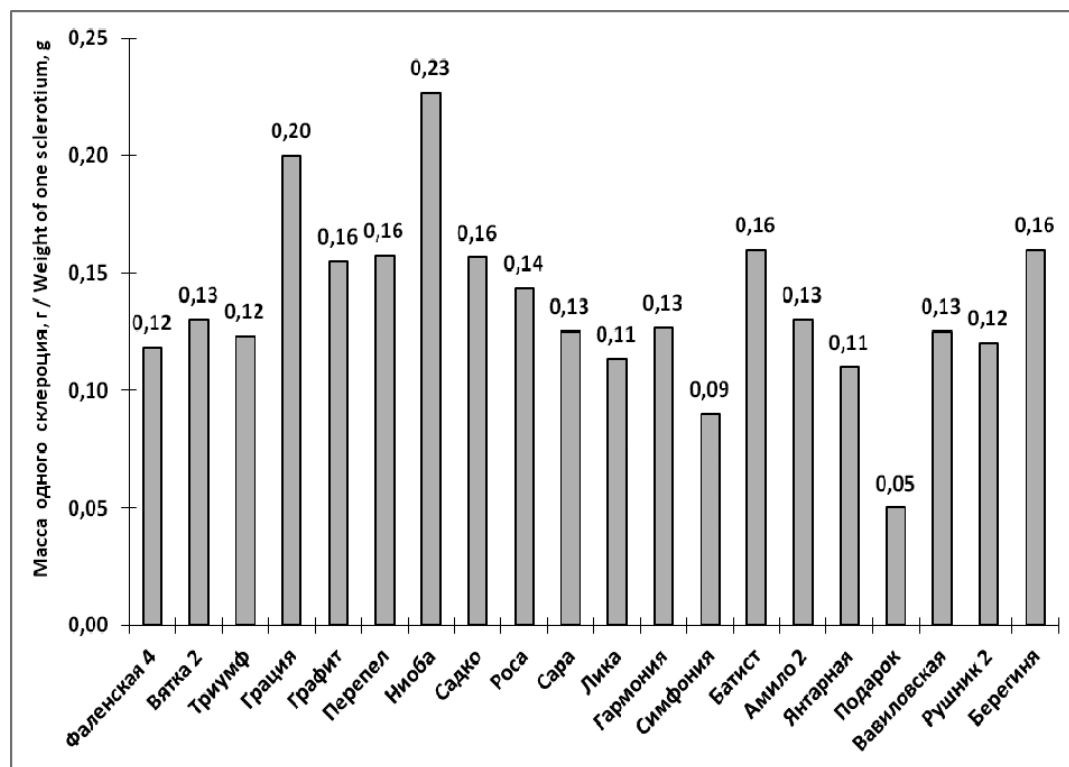


Рис. 2. Средняя масса одного склеротия на разных по восприимчивости сортах ржи (г. Киров, 2016–2021 гг.)

Fig. 2. Average weight of one sclerotium on rye cultivars differing in susceptibility (Kirov, 2016–2021)

Наиболее крупные склеротии (0,16–0,23 г) сформировались на сортах 'Ниоба', 'Грация', 'Графит', 'Перепел', 'Садко', 'Батист', а относительно мелкие (0,09–0,13 г) – на сортах 'Симфония', 'Ли́ка', 'Триумф', 'Сара', 'Гармония', 'Вятка 2' и 'Фалёнская 4'. У коллекционных образцов обнаружены относительно мелкие (0,05–0,10 г) склеротии (табл. 2). Выявлена значительная изменчивость длины и ширины склеротиев. На сортах ФАНЦ Северо-Востока формировались склеротии, длина которых варьировала от 15,93 мм ('Симфония') до 23,33 мм ('Ниоба'), а ширина – от 2,55 ('Вятка 2') до 4,40 мм ('Грация'); на образцах коллекции ВИР формировались склеротии длиной от 11,25 мм ('Подарок') до 22,05 мм ('Берегиня') и шириной от 2,35 мм до 2,95 мм. Наиболее мелкие по размеру и массе склеротии сформировали сорта 'Подарок', 'Симфония', 'Вятка 2', 'Фалёнская 4' и 'Вавиловская'. Мелкие склеротии, имеющие меньшую массу по сравнению с зернами ржи, выделяются воздушным потоком, а оставшиеся – проходом через решета с продолговатыми отверстиями размером 1,8 × 2,0 мм (Sysuev et al., 2015).

В результате исследований изученные сорта озимой ржи по характеру взаимоотношений *Secale cereale* L. – *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. можно дифференцировать следующим образом: сорта, на которых формируются крупные

У склеротиев, собранных с 20 сортов ржи, изучен состав и содержание ЭА (табл. 3). В склеротиях, сформировавшихся на 9 сортах селекции ФАНЦ Северо-Востока, ЭА не выявлены, на остальных сортах процентное содержание ЭА в склеротиях варьировало в значительных пределах: от 0,04% ('Триумф') до 0,36% ('Рушник 2').

Следует отметить, что ранее проведенные исследования выявили более высокое суммарное содержание ЭА, которое достигало 0,90% (Sheshegova et al., 2019), что может быть индуцировано экстремальными климатическими факторами в период формирования склеротиев. Тесную зависимость токсичности от состояния среды отмечали и другие исследователи (Pazoutova et al., 2000; Zvonkova et al., 2005). Что касается состава ЭА, то во всех образцах склеротиев обнаружены одинаковые пептидные ЭА: эрготамин и его стереоизомер эрготаминин, а также эргокристин, что отличается от состава ЭА в склеротиях, изученных в Германии, Австрии и Польше (Kodisch et al., 2020a). В географически отдаленных образцах склеротиев были обнаружены эргокорнин, эргокристинин и α-эргокриптин.

В результате корреляционного анализа выявлена значимая ($P \geq 0,05$) зависимость между поражением посевов спорыньей и биометрическими показателями склеротиев: $r = 0,60$ (длина), $r = 0,52$ (ширина), $r = 0,50$ (масса).

Таблица 2. Биометрия склероциев, сформировавшихся на сортах озимой ржи (г. Киров, 2016–2021 гг.)**Table 2.** Biometrics of sclerotia in different gene pool material of winter rye (Kirov, 2016–2021)

Сорт / Cultivar	Масса склероциев, г/м² / Weight of sclerotia, g/m²	Параметры склероциев / Sclerotia parameters	
		Длина, мм / Length, mm	Ширина, мм / Width, mm
Сорта селекции ФАНЦ Северо-Востока / Cultivars bred at the FANC North-East			
Фалёнская 4	16,36 ± 9,31	16,23 ± 2,52	2,90 ± 0,41
Вятка 2	22,50 ± 6,80	16,05 ± 0,05	2,55 ± 0,05
Триумф	20,54 ± 8,58	19,23 ± 1,09	3,23 ± 0,27
Грация	21,23 ± 9,94	19,90 ± 1,90	4,40 ± 1,40
Графит	13,37 ± 6,01	19,30 ± 1,95	3,33 ± 0,37
Перепел	17,27 ± 7,72	21,85 ± 2,89	3,60 ± 0,18
Ниоба	15,83 ± 3,90	23,33 ± 1,31	4,10 ± 0,36
Садко	14,68 ± 7,17	20,03 ± 1,81	3,80 ± 0,31
Роса	10,43 ± 6,60	19,33 ± 1,45	3,40 ± 0,23
Сара	13,86 ± 5,96	18,70 ± 3,50	3,20 ± 0,20
Лика	5,76 ± 2,40	19,23 ± 1,23	3,13 ± 0,17
Гармония	5,50 ± 2,29	18,03 ± 1,39	3,40 ± 0,31
Симфония	5,11 ± 2,20	15,93 ± 0,75	2,73 ± 0,03
Батист	11,17 ± 7,19	18,47 ± 2,92	3,63 ± 0,20
Среднее по сортименту	13,83	18,97	3,39
Сорта коллекции ВИР / Cultivars from the VIR collection			
Амило 2	3,45 ± 0,04	18,30 ± 0,10	2,75 ± 0,05
Янтарная	5,35 ± 0,04	18,50 ± 0,10	2,55 ± 0,05
Подарок	0,75 ± 0,04	11,25 ± 0,05	2,35 ± 0,05
Вавиловская	13,45 ± 0,59	15,20 ± 0,92	2,95 ± 0,35
Рушник 2	3,25 ± 0,12	19,05 ± 0,05	2,55 ± 0,05
Берегиня	7,15 ± 0,04	22,05 ± 0,05	2,95 ± 0,05
Среднее по сортименту	5,57	17,39	2,68

Таблица 3. Содержание эргоалкалоидов и их состав в склероциях *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., сформировавшихся на разных по восприимчивости к спорынье сортах озимой ржи (искусственная инокуляция, г. Киров, 2017–2021 гг.)

Table 3. Ergot alkaloid content and composition in *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. sclerotia on winter rye cultivars differing in susceptibility to ergot (artificial inoculation, Kirov, 2017–2021)

Сорт / Cultivar	Эргоалкалоиды / Ergot alkaloids		
	склероциев, мг/г / sclerotia, mg/g	от массы склероциев, % / from the weight of sclerotia, %	состав / composition
Сорта ФАНЦ Северо-Востока / Cultivars of the FANC North-East			
Вятка 2	2,2	0,22 ± 0,009	ЭТ, ЭМ, ЭК
Триумф	0,4	0,04 ± 0,002	ЭТ, ЭМ, ЭК
Грация	1,0	0,10 ± 0,004	ЭТ, ЭМ, ЭК
Графит	0	0	–
Перепел	0	0	–
Ниоба	0	0	–
Садко	0	0	–
Роса	0	0	–
Сара	0	0	–
Лика	0	0	–
Гармония	0	0	–
Симфония	0	0	–
Батист	1,7	0,17 ± 0,008	ЭТ, ЭМ, ЭК
Фалёнская 4	1,4	0,14 ± 0,007	ЭТ, ЭМ, ЭК
Сорта коллекции ВИР / Cultivars from the VIR collection			
Амило 2	1,4	0,14 ± 0,006	ЭТ, ЭМ, ЭК
Янтарная	0,7	0,07 ± 0,009	ЭТ, ЭМ, ЭК
Подарок	2,0	0,20 ± 0,010	ЭТ, ЭМ, ЭК
Вавиловская	0,6	0,06 ± 0,002	ЭТ, ЭМ, ЭК
Рушник 2	3,6	0,36 ± 0,015	ЭТ, ЭМ, ЭК
Берегиня	0,6	0,06 ± 0,002	ЭТ, ЭМ, ЭК

Примечание: ЭТ – эрготамин, ЭМ – эрготаминин, ЭК – эргокрестин; «0» и «–» – ЭА не обнаружены

Note: ЭТ – ergotamine, ЭМ – ergotaminine, ЭК – ergocristine; “0” and “–” – EA were not detected

са); между засоренностью зерна склероциями и биометрическими показателями: $r = 0,63$ (длина), $r = 0,78$ (ширина) и $r = 0,69$ (масса).

Обнаружена слабая отрицательная связь между массой одного склероция и накоплением в склероциях ЭА ($r = -0,46$). Учитывая, что мелкие склероции невозможно полностью отделить из зернового вороха путем механической сортировки, в силу чего часть их попадает в семенные и продовольственные партии зерна (Sysuev et al., 2019), биологическая опасность этой фракции представляется наиболее серьезной. В свою очередь, на степень засоренности зерна склероциями существенное ($P \geq 0,95$) влияние оказывают степень поражения посевов ($r = 0,70$) и масса склероциев ($r = 0,69$).

В наших исследованиях значимая связь между поражением посевов спорыньей и содержанием ЭА в склероциях (то есть между токсичностью и патогенностью *C. purpurea*) не выявлена ($r = 0,22$). В других исследованиях (Kodisch et al., 2020a) эта зависимость была очевидна ($r = 0,53$). Относительно невысокая связь между этими признаками обуславливает необходимость использования в иммунологических исследованиях разных штаммов *C. purpurea*. С другой стороны, для оценки биологической опасности склероциев в конкретной партии зерна необходима информация об уровне ЭА в склероциях, сформировавшихся на том или ином сорте. В случае нетоксичности склероции представляют собой неопасную биологическую примесь.

Заклучение

При искусственной инокуляции *C. purpurea* впервые выделено 14 наименее поражаемых спорыньей сортов озимой ржи ('Флора', 'Кипрез', 'Графиня', 'Ли́ка', 'Батист', 'Симфония', 'Гармония', 'Садко', 'Паром', 'Ви́раж', 'Саратовская 7', 'Волхова', 'Новая Эра', 'Подарок'), которые могут быть использованы в селекции на иммунитет. В склероциях Кировской популяции *C. purpurea* идентифицированы три ЭА: эргокрестин, эрготамин и его стереоизомер эргокрестинин. Содержание ЭА составляло 0,04–0,36% от массы склероциев. В склероциях, формировавшихся на растениях 9 перспективных популяций ('Графит', 'Перепел', 'Ли́ка', 'Гармония', 'Симфония', 'Нюба', 'Садко', 'Роса' и 'Сара'), ЭА не накапливались. Особую ценность для селекции представляют слабо поражаемые спорыньей сорта 'Ли́ка', 'Симфония' и 'Гармония'; сформировавшиеся на этих сортах склероции не накапливали ЭА. Установлена достоверная зависимость между степенью поражения растений паразитом и биометрическими показателями склероциев *C. purpurea*: $r = 0,60$ (длина), $r = 0,52$ (ширина), $r = 0,50$ (масса); между засоренностью зерна склероциями и биометрическими показателями: $r = 0,63$ (длина), $r = 0,78$ (ширина) и $r = 0,69$ (масса). Выявлена слабая положительная связь ($r = 0,22$) между токсичностью и патогенностью *C. purpurea*.

References / Литература

- Gagkaeva T.Yu., Dmitriev A.P., Pavlyushin V.A. Grain microbiota – index of its quality and safety. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2012;(9):14-18. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Дмитриев А.П., Павлюшин В.А. Микробиота зерна – показатель его качества и безопасности. *Защита и карантин растений*. 2012;(9):14-18).
- Goncharenko A.A. The current state of production, methods and promising areas of winter rye breeding in the Russian Federation (Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva, metody i perspektivnye napravleniya selektsii ozimoy rzhii v RF). In: *Winter Rye: Breeding, Seed Production, Technology and Processing (Ozimaya rozh: selektsiya, semenovodstvo, tekhnologii i pererabotka)*. Ufa; 2009. p.40-76. [in Russian] (Гончаренко А.А. Современное состояние производства, методы и перспективные направления селекции озимой ржи в РФ. В кн.: *Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка*. Уфа; 2009. С.40-76).
- Grusie T.J., Cowan V., Singh J., McKinnon J., Blakley B. Proportions of predominant Ergot alkaloids (*Claviceps purpurea*) detected in Western Canadian grains from 2014 to 2016. *World Mycotoxin Journal*. 2018;11(2):259-264. DOI: 10.3920/WMJ2017.2241
- Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V. Ergot development on low-pentosan diploid winter rye. *Grain Economy of Russia*. 2021;4(76):73-78. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Развитие спорыньи на низкопентозной диплоидной озимой ржи. *Зерновое хозяйство России*. 2021;4(76):73-78). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78
- Kodisch A., Oberforster M., Raditschnig A., Rodemann B., Tratwal A., Danielewicz J. et al. Covariation of ergot severity and alkaloid content measured by HPLC and one ELISA method in inoculated winter rye across three isolates and three European countries. *Toxins*. 2020a;12(11):676. DOI: 10.3390/toxins12110676
- Kodisch A., Wilde P., Schmiedchen B., Fromme F.-J., Rodemann B., Tratwal A. et al. Ergot infection in winter rye hybrids shows differential contribution of male and female genotypes and environment. *Euphytica*. 2020b;216(4):65. DOI: 10.1007/s10681-020-02600-2
- Mainka S., Dänicke S., Böhme H., Ueberschär K.H., Liebert F. On the composition of ergot and the effects of feeding different ergot sources on piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2007; 139(1-2):52-68. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.12.001
- Miedaner T., Geiger H.H. Biology, genetics and management of ergot (*Claviceps* spp.) in rye, sorghum, and pearl millet. *Toxins*. 2015;7(3):659-778. DOI: 10.3390/toxins7030659
- Miedaner T., Kodisch A., Raditschnig A., Eifler J. Ergot alkaloid contents in hybrid rye are reduced by breeding. *Agriculture*. 2021;11(6):526. DOI: 10.3390/agriculture11060526
- Miedaner T., Mirdita V., Geiger H.H. Strategies in breeding for ergot (*Claviceps purpurea*) resistance. In: *Book of Abstracts: EUCARPIA International Symposium on Rye Breeding and Genetics; Belarus. Zhodino*; 2010. p.83.
- Pazoutova S., Olsovska J., Linka M., Kolinska R., Flieger M. Chemoraces, and habitat specialization of *Claviceps purpurea* populations. *Applied and Environmental Microbiology*. 2000;66(12):5419-5425. DOI: 10.1128/AEM.66.12.5419-5425.2000
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N. Ergot of winter rye and measures to combat it (Sporynya ozimoy rzhii i меры борьбы с ней). *Niva Tatarstana = Grain Fields of Tatarstan*. 2001;(5):8-9. [in Russian] (Пономарева М.Л., Понамарева С.Н. Спорынья озимой ржи и меры борьбы с ней. *Нива Татарстана*. 2001;(5):8-9).
- Safonova I.V., Anis'kov N.I., Kobylyansky V.D. The database of genetic resources in the VIR winter rye collection as a means of classification of genetic diversity, analysis of the collection history and effective study and preservation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):780-786. [in Russian] (Сафонова И.В., Анисков Н.И., Кобылянский В.Д. База данных генетических ресурсов коллекции озимой ржи ВИР как средство классификации генетического разнообразия, анализа истории коллекции и эффективного изучения и сохранения. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):780-786). DOI: 10.18699/VJ19.552
- Scott P.M., Lombaert G.A., Pellaers P., Bacler S., Lappi J. Ergot alkaloids in grain foods sold in Canada. *Journal of AOAC International*. 1992;75(5):773-779.
- Shchekleina L.M. Influence of weather factors on separate periods of fungus *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. development and level of ergot harmfulness in Kirov region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):134-143. [in Russian] (Щеклеина Л.М. Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(2):134-143). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143
- Shchekleina L.M. Monitoring of winter rye diseases in Kirov region and possible trends of breeding for immunity. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(2):124-132. [in Russian] (Щеклеина Л.М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(2):124-132). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132
- Shchekleina L.M., Sheshegova T.K. The diseases *Secale cereal L.* in Kirov region and genetic sources of sustain-

- ability for winter rye selection. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020;6(159):86-92. [in Russian] (Щеклеина Л.М., Шешегова Т.К. Болезни *Secale cereale* L. в Кировской области и генетические источники устойчивости для селекции. *Вестник КрасГАУ*. 2020;6(159):86-92). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92
- Sheshegova T.K., Shchekleina L.M., Antipova T.V., Zhelifonova V.P., Kozlovsky A.G. Search for rye and wheat genotypes which are resistant to *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. and hamper accumulation of ergoalkaloids in sclerotia. *Agricultural Biology*. 2021;56(3):549-558. [in Russian] (Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Антипова Т.В., Желифонова В.П., Козловский А.Г. Поиск генотипов ржи и пшеницы, устойчивых к *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и не накапливающих эргоалкалоиды в склероциях гриба. *Сельскохозяйственная биология*. 2021;56(3):549-558). DOI: 10.15389/agrobiology.2021.3.549rus
- Sheshegova T.K., Shchekleina L.M., Kedrova L.I., Utkina E.I. Winter rye breeding for resistance to ergot: Guidelines (Seleksiya ozimoy rzhi na ustoychivost k sporynye: Metodicheskoye posobiye). Kirov: Vyatka State Agricultural Academy; 2018. [in Russian] (Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Селекция озимой ржи на устойчивость к спорынье: Методическое пособие. Киров: Вятская ГСХА; 2018).
- Sheshegova T.K., Shchekleina L.M., Zhelifonova V.P., Antipova T.V., Baskunov B.P., Kozlovsky A.G. A resistance of rye varieties to ergot and ergot alkaloid content *Claviceps purpurea* sclerotia on the Kirov region environments. *Mycology and Phytopathology*. 2019;53(3):177-182. [in Russian] (Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Желифонова В.П., Антипова Т.В., Баскунов Б.П., Козловский А.Г. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области. *Микология и фитопатология*. 2019;53(3):177-182). DOI: 10.1134/S0026364819030127
- Sysuev V.A., Saitov V.E., Farafonov V.G., Saitov A.V. Investigation of grain movement parameters in the liquid of the device for removing ergot. *Engineering Technologies and Systems*. 2019;29(2):248-264. [in Russian] (Сысыев В.А., Сaitов В.Е., Фарафонов В.Г., Сaitов А.В. Исследование параметров движения зерна в жидкости устройства для удаления спорыньи. *Инженерные технологии и системы*. 2019;29(2):248-264). DOI: 10.15507/2658-4123.029.201902.248-264
- Sysuev V.A., Saitov V.E., Farafonov V.G., Suvorov A.N., Saitov A.V. Theoretical background of calculation of the parameters of the device for grain cleaning from ergot sclerotia. *Russian Agricultural Sciences*. 2017;43(3):273-276. DOI: 10.3103/S1068367417030156
- Sysuev V.A., Saitov V.E., Savinyh P.A., Saitov A.V. Cleaning the seeds of rye ergot. *Modern High Technologies*. 2015;(6):46-49. [in Russian] (Сысыев В.А., Сaitов В.Е., Савиных П.А., Сaitов А.В. Очистка семян ржи от спорыньи. *Современные наукоемкие технологии*. 2015;(6):46-49).
- Wolff J., Ocker H.D., Zwingelberg H. Bestimmung von Mutterkornalkaloiden im Getreide und Mehlprodukten durch HPLC. *Getreide, Mehl und Brot*. 1983;37:331-335. [in German]
- Zvonkova E.N., Shain S.S., Saibel E.S. Ways to obtain neurohormonal preparations of the ergopeptide series (Puti polucheniya neyrogormonalnykh preparatov ergopeptidnogo ryada). *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal = Russian Chemical Journal*. 2005;49(1):125-134. [in Russian] (Звонкова Е.Н., Шаин С.С., Сайбель Е.С. Пути получения нейрогормональных препаратов эргопептидного ряда. *Российский химический журнал*. 2005;49(1):125-134).

Информация об авторах

Люция Муллаахметовна Щеклеина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, immunitet@fanc-sv.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3589-5524>

Татьяна Кузьмовна Шешегова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, sheshegova.tatyana@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-2371-4949

Information about the authors

Lucia M. Shchekleina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, immunitet@fanc-sv.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3589-5524>

Tatiana K. Sheshegova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of a Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, sheshegova.tatyana@yandex.ru, orcid.org/0000-0003-2371-4949

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.03.2022; одобрена после рецензирования 07.06.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 13.03.2022; approved after reviewing on 07.06.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Обзорная статья
УДК 631.52:635.112
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250



Генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta L.*) как потенциал для селекции (обзор)

Д. В. Соколова

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Диана Викторовна Соколова, dianasokol@bk.ru

В статье приведены краткие сведения об истории коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.), ее составе, актуальных направлениях изучения и значении для отечественной селекции. Начало коллекции было положено в 1924 г. экспедиционными сборами Н. И. Вавилова. В настоящее время в коллекции свеклы (*Beta L.*) 2512 образцов, из которых столовая разновидность представлена 461 образцом из 45 стран мира, собранных благодаря многочисленным экспедициям, привлеченных путем обмена и выписки из зарубежных генбанков, полученных от селекционеров нашей страны и зарубежья, а также материалов, созданных сотрудниками ВИР. Приоритеты отечественной селекции являются главным принципом привлечения материала в коллекцию. Столовая свекла – экономически важная, высокоурожайная, повсеместно выращиваемая культура, имеющая широкий ареал возделывания и являющаяся ценным по биохимическому составу продуктом питания, благоприятно влияющим на здоровье человека.

В статье приведены сведения о генетическом разнообразии коллекции свеклы ВИР, актуальных направлениях ее изучения и использования в селекции. Дана характеристика имеющихся в коллекции сортотипов свеклы, их морфологические особенности и ценность, приведены названия образцов из признаковых групп, генетических источников. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений РФ зарегистрировано 125 сортов и 38 гибридов столовой свеклы, из которых 70% – отечественной селекции.

Ключевые слова: сорт, сортотип, признаковые группы, селекция, пластичность, раздельноплодность, скороспелость, цветущность, исходный материал для селекции

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0003 «Мировые ресурсы овощных и бахчевых культур коллекции ВИР: эффективные пути раскрытия эколого-генетических закономерностей формирования разнообразия и использования селекционного потенциала».

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Соколова Д.В. Генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta L.*) как потенциал для селекции (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):239-250. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250

SURVEYS

Review

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250

Genetic diversity of the table beet (*Beta* L.) collection at VIR as a potential source for breeding (a review)

Diana V. Sokolova

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Diana V. Sokolova, dianasokol@bk.ru

This review presents brief information about the history of the table beet (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.) collection at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), its composition, research trends, and significance for domestic breeding. The collection started in 1924 with Vavilov's collecting activities. Currently, the collection consists of 2512 accessions; the table beet variety is represented by 461 accessions from 45 countries, collected in numerous expeditions, obtained from foreign genebanks through germplasm exchange and seed requests, received from domestic and foreign breeders, plus materials developed by VIR researchers. Table beet is an economically important, high-yielding, ubiquitous crop that has a wide cultivation area and is a valuable biochemical food product with beneficial effects on human health.

The information is provided on the genetic diversity of VIR's table beet collection, including current trends of its study and use in breeding. Characteristics of table beet accessions available in the collection, their morphological features and value, and the names of accessions from different trait groups and genetic sources are described. Presently, 125 cultivars and 38 F₁ hybrids of table beet are listed in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation, 70% of which are products of domestic breeding.

Keywords: cultivar, morphotype, trait groups, plasticity, monogermity, earliness, bolting resistance, breeding source material

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0003 "Global genetic resources of vegetable and cucurbit crops in the VIR collection: effective ways to disclose ecogenetic patterns in the formation of their diversity and utilization of breeding potential."

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Sokolova D.V. Genetic diversity of the table beet (*Beta* L.) collection at VIR as a potential source for breeding (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):239-250. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250

Введение

Свекла (*Beta* L.) – экономически важная культура овощного, кормового, технического и декоративного использования – занимает важное место в питании человека и животных и издревле ценится за свои вкусовые и лечебные качества. Возделываемые человеком разновидности свеклы (*Beta vulgaris* L.) подразделяются на четыре группы: столовую, сахарную, кормовую и листовую (мангольд). Корнеплодные формы свеклы представлены одним ботаническим видом, имеют общность происхождения и взаимосвязаны в эволюционном развитии (Linnaeus, 1753; Andreello et al., 2016). При этом разновидности свеклы демонстрируют фенотипическое и генетическое расхождение. Столовая свекла среди них является наиболее дифференцированной (Mangin et al., 2015; Galewski, McGrath, 2020).

Столовая свекла (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.) – двулетняя культура, относящаяся к семейству Амарантовые (Amaranthaceae), подсемейству Лебедовые (Chenopodioideae), роду Свекла (*Beta* L.). Входит в тройку наиболее распространенных овощных культур в России. Эта высокоурожайная, повсеместно выращиваемая культура является компонентом «борщевых наборов» и имеет высокий спрос у населения. Особенный вкус столовой свекле придают содержащиеся в ней органические кислоты: молочная, лимонная, яблочная, винная, щавелевая. Кроме того, своеобразный вкус добавляют красящий пигмент бетанин и азотистое вещество бетанин. Эти уникальные, пока не обнаруженные в других овощах соединения, способствуют расщеплению и усвоению в организме человека белков животного и растительного происхождения (Herbach et al., 2004). Столовая свекла содержит много минеральных солей щелочного характера и витамины группы В, С, Р, РР, каротин, пантотеновую и фолиевую кислоты. Культура лидирует среди овощей по накоплению солей фосфора, калия, йода, много в ней серы, кальция и магния. Она является источником важных для жизнедеятельности человека микроэлементов, таких как бор, марганец, цинк, фтор, кобальт.

Человек начал использовать в пищу листья дикой свеклы с незапамятных времен. Первые упоминания о корнеплодной форме относятся к 3500 году до н. э. (Biancardi et al., 2012). Но относительно важнейших хлебных злаков и некоторых овощей культуру начали возделывать гораздо позднее – около IV–VI вв. до н. э. (De Candolle, 1885; de Vilmorin, 1923; von Lippmann, 1925; Zosimovich, 1940). Помимо пищевого значения, в древности признавали и медицинские свойства свеклы, что подтверждается современными исследованиями (Kapadia et al., 1996; Esatbeyoglu et al., 2014; Gandia-Herrero et al., 2016; Ninfali et al., 2017; da Silva et al., 2022; Mirmiran et al., 2020).

Потребление населением РФ свеклы имеет вековые традиции, что вызывает постоянный спрос на продукцию, семена и новые сорта. Для успешной работы селекционерам необходим разнообразный, хорошо изученный исходный материал. При этом большую роль играют генетические источники, характеризующиеся комплексом биологических и хозяйственно ценных признаков (Vavilov, 1934). Интрогрессия новых аллелей путем скрещивания различных генотипов свеклы, например скрещивание селекционных сортов со староместными популяциями, также увеличивает генетическое разнообразие и возможности отбора по полезным признакам (Goldman, Navazio, 2010).

На 2021 г. в Государственный реестр селекционных достижений РФ включено 125 сортов и 38 гибридов столовой свеклы. На долю иностранной селекции приходится 30%, причем 60% из них – гибриды F1. Среди отечественных сортов имеется только семь гибридов. Большинство сортов и гибридов в Госреестре (70%) – представители морфотипа с округлым корнеплодом, 15% – с цилиндрическим. Оставшаяся доля представлена тремя сортами типа Египетской плоской, тремя сортами с корнеплодами овальной и двумя – конусовидной формы. Можно констатировать, что отечественные селекционные достижения недостаточно разнообразны.

Цель данной статьи – сделать обзор имеющегося в коллекции столовой свеклы Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) генетического разнообразия, обладающего потенциалом для отечественной селекции.

История коллекции

Мировое биоразнообразие столовой свеклы собрано в коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Коллекция имеет почти 100-летнюю историю и хронологически подразделяется на четыре этапа (рис. 1).

На первом этапе – от начала поступления первых образцов до 1940 г. – произошли самые крупные поступления. В этот период, благодаря Н. И. Вавилу и его соратникам, в результате активного сотрудничества и многочисленных внутрисююзных и зарубежных экспедиций ВИР была заложена основа коллекции свеклы – собраны и сохранены наиболее ценные староместные формы, дикие виды и первые селекционные образцы. Основные экспедиционные сборы были получены в период с 1924 по 1928 г. Сбор материала проводился научными сотрудниками ВИР: Н. И. Вавиловым (Тунис, Алжир, Судан, острова Кипр и Крит, Греция, Испания, Португалия, Италия, Сирия, Палестина, Афганистан), П. М. Жуковским (Малая Азия), В. В. Марковичем (Индия), Е. А. Столетовой (Армения), Н. Д. Костецким (Абхазия), Е. Г. Черняговской (Персия) и другими (Krasochkin, 1960). Преимущественно это были староместные сорта столовой и кормовой свеклы, а также дикие виды. В этот же период в результате взаимодействия с исследовательскими и селекционными институтами США и европейских стран коллекция активно пополнялась новыми сортами столовой свеклы из США, Германии, Дании, Нидерландов, Франции и Великобритании (рис. 2). В дореволюционной России ввиду отсутствия селекционно-семеноводческих работ отечественных сортов столовой свеклы не существовало. Имелись лишь единичные отечественные сорта сахарной свеклы. Требования рынка привели к активному развитию пригородного овощеводства и появлению местных сортов столовой свеклы, приспособленных к различным условиям выращивания. В 1928 г. первыми российскими сортами, включенными в коллекцию, были 'Бордо 237' (к-201), 'Трибовская плоская' (к-202) и 'Египетская плоская темно-красная' (к-549).

С началом Великой Отечественной войны (второй период) институт столкнулся с рядом трудностей. Небольшая часть коллекции была эвакуирована на Урал до блокады Ленинграда. Но значительная часть осталась в городе и была сохранена благодаря героическим усилиям сотрудников ВИР. В период Великой Отечественной войны коллекция пополнялась единичными образцами из США и Болгарии: 'Perfected Detroit' (к-1546, США), 'Detroit'

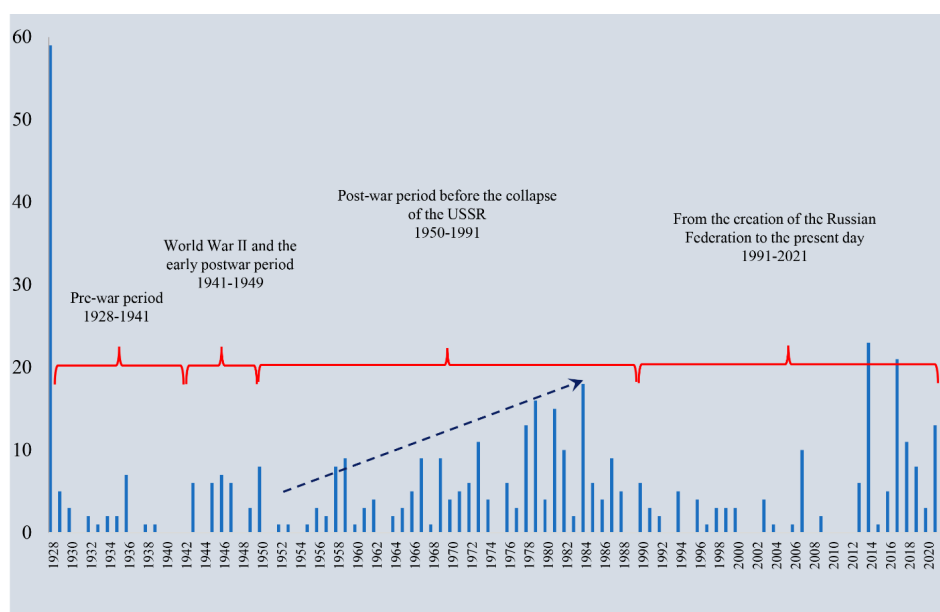


Рис. 1. Динамика пополнения коллекции столовой свеклы ВИР
Fig. 1. Table beet germplasm replenishment dynamics in the VIR collection



Рис. 2. Первые образцы столовой свеклы в коллекции ВИР: староместные и селекционные сорта 1928 года поступления

Fig. 2. The first table beet accessions added to the VIR collection in 1928: landraces and improved cultivars

(к-1571, США), 'Grdinske Sveklo' (к-1591, Болгария), а также отечественными сортами: 'Несравненная А 0463' (к-1581, Россия), 'Полярная плоская' (к-1585, Россия), 'Северный шар' (к-1586, Россия) и другими.

На третий период приходится постепенное активное развитие овощеводства и семеноводства в стране. До начала периода перестройки в коллекции появлялось множество высокоурожайных сортов, первые гибриды столовой свеклы. Это период наиболее плодотворной селекционной работы в нашей стране и за рубежом. Благодаря международному обмену и поступлениям от селекционеров коллекция пополнилась образцами со всего мира: морфологически разнообразными формами (сортотипами), первыми гибридами, холодостойкими и нецветущими сортами, донорами, ценными линейными материалами, устойчивыми к болезням биотипами.

После распада СССР начался современный этап. Это период длительного ослабления селекционных работ с культурой и постепенного сдвига фокуса внимания селекционеров на высокое качество корнеплодов и гибридную селекцию. В наши дни мобилизация нового материала в коллекцию проводится с учетом приоритетов отечественной селекции, такими как высокая урожайность и качество корнеплодов, раздельноплодность, скороспелость, устойчивость к цветущности, болезням.

Состав коллекции

В каталог мировой коллекции генетических ресурсов рода *Beta* L. включено 2512 образцов. Из них разнообразие столовой свеклы представлена 461 образцами, что составляет 29% (рис. 3).

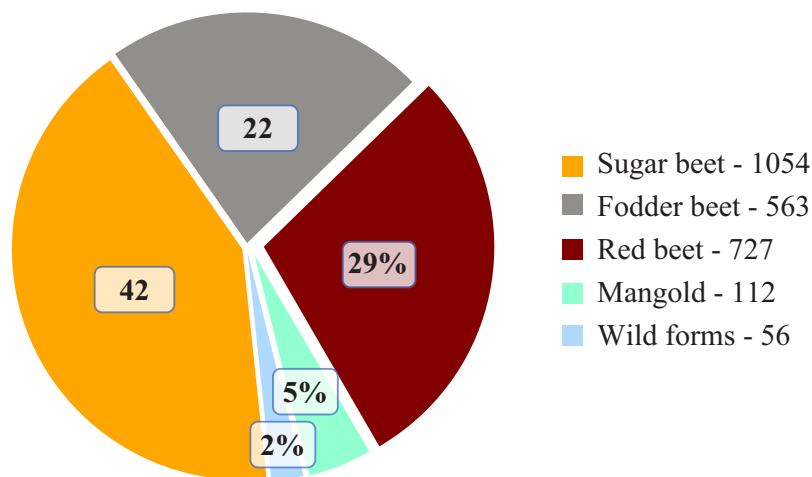


Рис. 3. Состав коллекции *Beta* L. (актуализированные данные на 2021 г.)

Fig. 3. Composition of the *Beta* L. collection at VIR (data updated for 2021)

Разнообразие генофонда коллекции столовой свеклы связано с широким охватом стран происхождения образцов (рис. 4). Наибольшее количество получено из Нидерландов, США и России (14,6%, 11,7% и 26,9% соответственно). Значительная часть коллекции (47,3%) представлена образцами из стран Европы, что обусловлено историческим интересом к выращиванию культуры в этих странах.

Образцы (сорта, формы, линии) – носители отдельных хозяйственно ценных признаков – имеют большое значение для селекционных работ, так как позволяют со-

здавать сорта и гибриды с заданными характеристиками в ускоренные сроки. С целью систематизации многообразия имеющегося материала в институте проводится его изучение и формирование признаков коллекций. В основу классификации коллекции столовой свеклы положена ботанико-идиотипическая характеристика (Krasochkin, 1960). Под идипотипом понимается совокупность и специфическая структура наследственных факторов – генома, плазмона и пластома (Rieger, Michaelis, 1967). Классификация базируется на следующих свойствах: сортотип, признак, гены, контролируемые признак (рис. 5).

Генетические источники и доноры важнейших признаков в коллекции представляют особую ценность. Изучение наследственности у свеклы началось более 100 лет назад. Ряд ученых проанализировали характер наследования признаков, ввели обозначения генов, для некоторых из них установили группы сцепления (Kajanus, 1914, 1917; Owen, Ruser, 1942; Owen, 1942, 1945; Lindhard, Iversen, 1920; Munerati, 1931; Abegg, 1936; Schwanitz, 1940; Savitsky, 1950, 1952; Bandlow, 1955; Wagner et al., 1992). На современном этапе, несмотря на интенсивное изучение, остается еще много неясного в вопросах, связанных с наследованием ряда важных признаков у столовой свеклы. Одна из причин недостаточной изученности культуры – сложности биологического характера: двулетний цикл развития, перекрестноопыляемость, выраженная самонесовместимость, поддерживающая аутбридинг, мелкие трудно кастрируемые цветки, быстрая реакция на факторы среды, полигенность большинства хозяйственно ценных признаков. На сегодняшний день, когда остро стоит вопрос использо-

вания в селекции гетерозиса, цитоплазматической мужской стерильности, раздельноплодности и полиплоидии, без данных о генетической основе этих признаков успешная селекция культуры стала практически невозможной (Abu-Ellail et al., 2021).

Характеристика сортотипов столовой свеклы

Под сортотипом понимают комплекс стабильных морфологических характеристик, на основе которых осуществляется идентификация образцов. Фенотипически

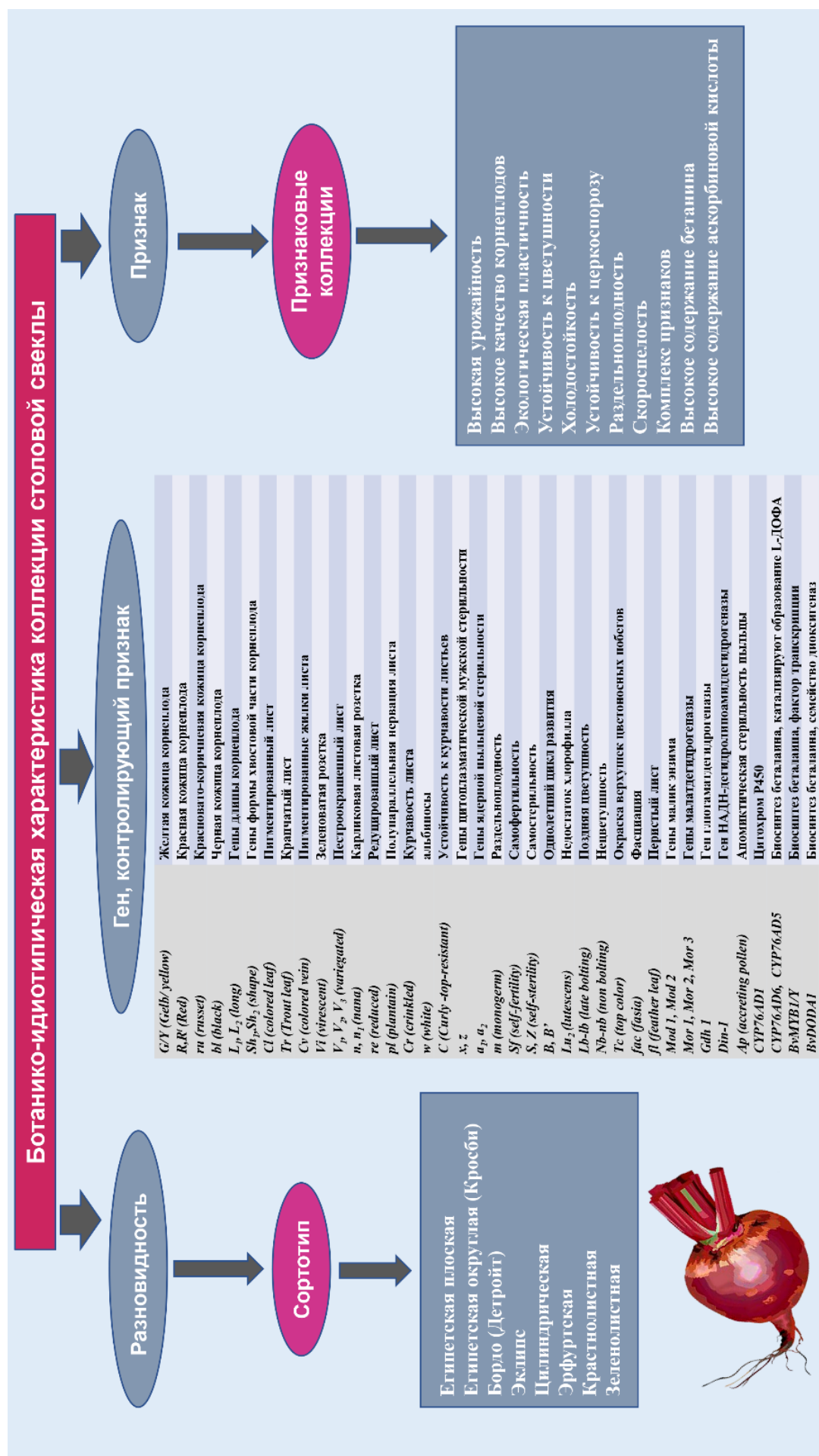


Рис. 5. Ботанико-идиотипическая характеристика коллекции столовой свеклы

Fig. 5. Botanical and idiotypic characteristics of the table beet collection

у рисунка (тексты) плохое качество!

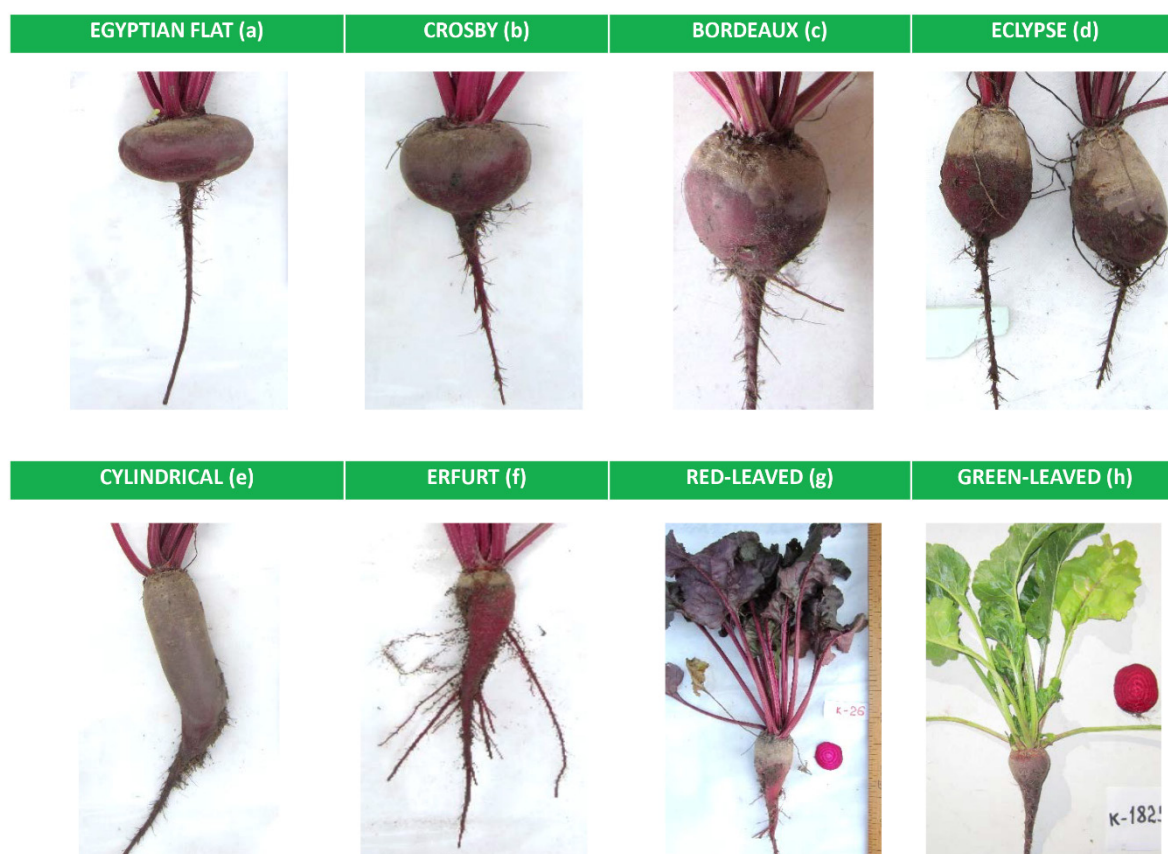


Рис. 6. Представители разных сортотипов столовой свеклы из коллекции ВИР

Fig 6. Table beet accessions of different morphotypes in the VIR collection.

1960). Характерными признаками являются округло-овальная и кубовидная форма корнеплода (индекс 0,9–1,1), темно-красная мякоть, хорошая транспортабельность, лежкость и товарность. Сорта этого типа, как правило, широкого ареала и обладают наибольшей экологической пластичностью (Burenin et al., 2013; Sokolova, 2018). Первый отечественный представитель данного сортотипа – сорт ‘Бордо 237’ – был выведен на Грибовской опытной станции (ныне Федеральный научный центр овощеводства) селекционерами В. В. Ордынским и С. П. Агаповым путем свободного переопыления 14 сортообразцов с последующим отбором по форме корнеплода и интенсивности окраски мякоти (Pivovarov, 1999; Soldatenko et al., 2020). Сорт включен в Госреестр селекционных достижений по всем регионам РФ и является стандартом при проведении испытаний и эколого-географических исследований. Образцы данного сортотипа характеризуются среднеспелостью (95–115 дней), высокими вкусовыми качествами, урожайностью (38–52 т/га). Морфологически отличается от плоских форм более удлиненными и крупными листьями (10–16 штук), широкой шейкой корнеплода (3–3,5 см) и его погруженностью в почву (на 1/2–2/3). Средняя масса корнеплода колеблется от 190 до 580 г. Благодаря отличной лежкости образцы этого сортотипа хорошо подходят для зимнего хранения и консервирования. Устойчивость к цветущности средняя, проявляется в более северных регионах. Сортотип широко представлен в коллекции ВИР (около 25%): ‘Бордо 237’ (к-201, Россия), ‘Подзимняя А-474’ (к-1678, Россия), ‘Detroit’ (к-1573, США), ‘Detroit ronde rouge’ (к-1792, Канада), ‘Detroit Nero’ (к-1979, Нидерланды), ‘Avonearly’ (к-2019, Италия), ‘Холодостойкая 19’ (к-2043,

Беларусь), ‘Камуляй 2’ (к-2049, Литва), ‘Banko’ (к-2066, Швеция), ‘Ohio Canner’ (к-2369, США), ‘Top Market’ (к-2925, Австралия), ‘Rubidius’ (к-3204, Венгрия) и другие.

Сортотип Эклипс (Eclipse) (рис. 6d). Первый представитель американского происхождения (сорт ‘Эклипс’) упоминается в каталоге фирмы ‘Vilmorin’ в 1886 г. (De Vilmorin, 1923). Характерной особенностью является овально-округлая форма корнеплода (индекс 1,0–1,2) с темно-красной мякотью с оттенком киноварно-красного тона и нередко с выраженными светлыми кольцами. Листовая розетка мощная, полуприподнятая, пластинка листа крупная, волнистая. Сорта среднеспелые, засухо- и жаростойкие, в условиях северных регионов дают высокий процент цветущности (до 17%). Ценятся за высокую урожайность, товарность, хорошую лежкость корнеплодов, а также за повышенное содержание аскорбиновой кислоты ($48,2 \pm 5,6$ мг/100 г) и сахаров ($12,3 \pm 1,9\%$). В коллекции ВИР представлены следующими образцами: ‘Eclipse runde fruhe’ (к-21, Нидерланды), ‘Granat’ (к-22, Нидерланды), ‘Runde schwarzrote’ (к-39, Германия), ‘Karmasinovii Kugel’ (к-208, Германия), ‘Dell’s Crimson’ (к-258, Великобритания), ‘Sutton’s Globe’ (к-660, Великобритания), ‘Кармазиновый шар 219’ (к-1397, Россия), ‘Северный шар к-250’ (к-1586, Россия), ‘Crimson globe’ (к-3102, Индия) и другие.

Сортотип Цилиндрическая (Гранат) (рис. 6e). В. Т. Красочкин относил подобные образцы к сортотипу Эклипс (Krasochkin, 1960). Позднее В. И. Буренин сгруппировал подобные морфотипы в отдельную группу с индексом корнеплода более 1,4 (Burenin, Pivovarov, 1998). Характерная особенность – вытянутые гладкие корнеплоды цилиндрической формы, тупоконечные, нередко с загну-

той формой хвостовой части. Этот признак имеет сложный характер наследования. Гены длины (L_1 , L_2) и формы хвостовой части (Sh_1 , Sh_2) были впервые описаны в 1917 г. (Kajanus, 1917; Burenin, Krasochkin, 1971). Сортотип практически не образует цветухи даже в северной зоне, устойчив к избытку влаги, на засуху реагирует резким снижением урожайности. Часто отмечается гофрированность листовой пластинки. Окраска кожицы и мякоти корнеплода темно-красная, консистенция нежная, лежкость средняя и удовлетворительная. Преимущество сортов – высокая урожайность, подходит для механической резки и консервирования. Первые образцы – сорта 'Granat' (к-22, Нидерланды) и 'New intermediate' (к-237, Великобритания) – поступили в коллекцию в 1928 г. и долгое время оставались единственными. Скорее всего, именно поэтому Красочкин относил эти образцы к сортотипу Эклипс. Но начиная с 1967 г. в коллекцию стали поступать и другие представители данного сортотипа с ярко выраженной тупоконечной формой корнеплода и нередко загнутой хвостовой частью, такие как: 'Forma nova' (к-1938, США), 'Cilyndra' (к-2367, Югославия), 'Vermilion' (к-3626, Канада), 'Norton' (к-3628, Нидерланды), 'Long Canner' (к-3201, Ботсвана). На сегодняшний день в коллекции содержатся высокоурожайные отечественные сорта и гибриды цилиндрического сортотипа: 'Приморская цилиндрическая' (к-3700), 'Матрёна' (к-3705), 'Донна' (к-3708), 'Негритянка' (к-3711), 'Казачка F1' (к-3799), 'Волшебница' (к-3818), 'Генеральская' (к-3894), а также иностранные образцы: 'Столовая местная цилиндрическая' (к-3737, Украина), 'Rote Rube Cilindra' (к-3739, Германия), 'Carillon' (к-3689, Нидерланды) и другие.

Сортотип Эрфуртская (Erfurt) (рис. 6f). Сорта данного сортотипа широкого распространения не имеют. Корнеплоды коротко- или удлинённо-конические, с разветвлением и неровной поверхностью, значительно погружены в почву. Мякоть корнеплода с узкими светлыми кольцами, окраска кожицы черно-красная. Розетка листа крупная, стоячая, пластинка с сильной пигментацией. Позднеспелый тип (130–150 дней), склонен к цветущности, сравнительно устойчив к заболеваниям, лежкость хорошая. Представляет интерес как источник повышенного содержания бетаина ($128,2 \pm 32,2$ мг/100 г), соле- и засухоустойчивости (Sokolova, Solovieva, 2019). В коллекции сортотип представлен образцами: 'Lange dicke dunkellaubige extra' (к-25, Нидерланды), 'Lange schwarzrote' (к-36, Германия), 'Erfurter schwarzrote lange' (к-95, Германия), 'Carters long red' (к-243, Великобритания), 'Long Smooth Blood' (к-430, США), 'Эрфуртская горийская' (к-1698, Грузия), 'Дигомская №570' (к-1699, Грузия).

Сортотип Краснолистая (Red-leaved) (рис. 6g). Образцы данного сортотипа характеризуются наличием маркерного признака – темно-бордовой окраски всей листовой биомассы растений, которая детерминирована генами пигментации листа (*Cl-colored leaf*) (Owen, Ruser, 1942). Форма корнеплода может быть различна, с темно-вишневым оттенком, продуктивность низкая, разветвленность сильная. Лист крупный, пластинка широкая, волнистая. Сортотип позднеспелый, лежкость хорошая. Сорта используются в качестве носителя маркерного признака при проведении скрещиваний, а также в декоративных целях. Образцы коллекции: 'Halblange schwarzrote dunkellaubige' (к-199, Германия), 'Non plus ultra' (к-26, Нидерланды), 'Lange schwarzrote' (к-36, Германия), 'Halblange rote' (к-1603, Германия), 'Rounde nois longue' (к-1983, Франция), 'Betterowe Potagere' (к-2011, Алжир),

'Red Tester 2001 ДАБ' (к-3199, Россия), 'Местная' (к-3621, Грузия), 'Red Tester 2004' (к-3622, Россия), 'Beta vulgaris №372' (к-3813, Армения).

Сортотип Зеленолистная (Green-leaved) (рис. 6h). Для сортотипа характерна зеленая окраска листьев и черешков, сохраняющаяся до уборки. Корнеплод полудлинный, овально-конический, кожица киноварно-красная, мякоть ярко-красная с оранжевым оттенком. Розетка зеленых листьев полуприжатая, пластинка широкая, короткая, темно-зеленая, часто с опушением. Лежкость хорошая, устойчив к цветущности. Отличается высоким содержанием сухого вещества (до 20%) и сахаров, а также обладает самофертильностью (ген *Sf*) (Schwanitz, 1940; Owen, 1942). В коллекции представлен образцами: 'Rouge fonce de Massy' (к-4, Франция), 'Зеленолистная 42' (к-1968, Россия), 'Green top' (к-3595, Канада), 'Gutz Green leaf' (к-1825, США), 'Luty Green Leaf' (к-3172, США), 'Long Season Harris' (к-2221, США), 'Салатная' (к-3049, Россия).

Признаковые группы и генетические источники

Основные требования, предъявляемые ко всем сортам и гибридам столовой свеклы, – высокая урожайность и качество корнеплодов, устойчивость к наиболее вредным заболеваниям и нецветущность. Кроме того, для более северных районов с коротким вегетационным периодом необходимо выведение более скороспелых сортов, устойчивых к временному избытку влаги, для районов с недостатком влаги – засухоустойчивых, в условиях орошения – жароустойчивых. Все сорта должны отличаться повышенной лежкостью и минимальными потерями питательных веществ в период хранения. Для комплексной механизации важными являются такие признаки, как приспособленность к механизированной уборке (стоячая листовая розетка) и раздельноплодность, значительно снижающая затраты путем исключения из агротехники крайне дорогостоящего процесса ручного прореживания всходов. Исходя из вышеперечисленных требований в коллекции сформированы генетические коллекции и группы с отдельными признаками, а также с комплексом хозяйственно ценных характеристик.

Раздельноплодная группа столовой свеклы (наличие гена *m*) представлена сортами 'Monoking Explorer' (к-2059, Нидерланды), 'Односемянная' (к-2080, Россия), 'Свирская односемянная 38/36' (к-2225, Украина), 'Мона LD' (к-2929, Финляндия), 'Monogram' (к-2939, Финляндия), 'Monodet' (к-2940, Финляндия), 'Monrondo' (к-2945, Дания), 'Monogerme Explorer' (к-2983, Франция), 'Mona' (к-3185, Дания), а также созданными в ВИР инбредными линейными материалами (I_2 , I_3) (Sokolova, Piskunova, 2008; Sokolova, 2010; Burenin et al., 2016).

В результате скрининга генофонда коллекции была выделена устойчивая к цветущности группа (наличие гена *NbNb*), включающая образцы 'Бордо Хибинская' (к-1396, Россия), 'Подзимняя A0474' (к-1678, Россия), 'Banko' (к-2066, Швеция), 'Fire Chief' (к-2931, США), 'Detroit Bolivar' (к-2988, Нидерланды), 'Ruval' (к-3114, Дания), 'Crimson globe' (к-3102, Великобритания). В условиях Полярной опытной станции ВИР получен холодостойкий нецветущий сорт 'Полярная плоская 249' (к-1585) (Burenin et al., 2016).

Свекла является очень пластичной культурой, способной гибко реагировать на факторы среды. П. М. Жуковский (Zhukovsky, 1964) предположил, что широкая адаптация свеклы к новым условиям выращивания может быть

связана с вариациями, накопленными в географически разнообразных предковых популяциях и распространенными через примеси и поток генов между линиями. Широкие эколого-географические испытания позволили сформировать группу наиболее адаптивных образцов столовой свеклы широкого ареала возделывания: 'Goldier's super black beet' (к-270, Великобритания), 'Agyptische' (к-642), 'Detroit dark red turnip improved' (к-1757, Франция), 'Perfected Detroit Dark Red' (к-1815, Канада), 'Catterall's Intermediate' (к-1942, Чехия) и 'Прыгажуня' (к-3064, Беларусь). Данные сорта подходят для интенсивной технологии выращивания, они легко приспосабливаются к изменяющимся условиям среды (Sokolova, 2018).

Отдельную группу образцов составляют тетраплоидные формы, которые как правило, низко продуктивны, но при скрещивании с диплоидными формами у гибридов часто проявляется эффект гетерозиса (Lutkov, 1966). К ним относятся 'Невежис 4х' (к-2228, Литва), 'Тетра 21' (к-3203, Беларусь) и 'Сквирская 4х' (к-2900, Украина).

В коллекции сформирована хорошо изученная группа столовой свеклы с повышенным содержанием бетанина (Sokolova, Solovieva, 2019). Это нетоксичное соединение, относящееся к флавоноидам и проявляющее выраженные противовоспалительные, антиканцерогенные и антиоксидантные свойства, что вызывает растущий к нему интерес не только как к натуральному красителю при производстве продуктов питания, но и в фармацевтической и косметической промышленности (Tesoriere et al., 2004; Jiratanan, Liu 2004; Stintzing, Carle, 2007; Esatbeyoglu et al., 2014). Среди высокобетаниновых образцов: 'Бордо односемянная' (к-3151, Россия), 'Детройт рубиновый-5' (к-3677, Россия), 'Русская односемянная' (к-3151, Россия), 'Русский борщ' (к-3716, Россия), 'Бордовая ВНИИО' (к-3692, Россия), 'Бордо 60' (к-2989, Болгария), 'Honey red' (к-3031, США), 'Rote Rube' (к-3690, Германия).

Заключение

Собранная в ВИР коллекция столовой свеклы, имеющая почти 100-летнюю историю, уникальна своим происхождением и разнообразием. В коллекции имеются генетические источники по большинству известных генов, доноры ценных признаков, а также признаковые группы по всем наиболее важным направлениям селекции. Генетическое разнообразие культуры является потенциалом для селекционного использования и активного изучения в свете современных знаний и технологий. В результате многолетнего всестороннего изучения коллекции выделены образцы, рекомендуемые для включения в селекционные схемы получения новых сортов и гибридов.

Подытоживая обзор мировой коллекции столовой свеклы ВИР, нужно подчеркнуть, что сохраняемый в институте разнообразный хорошо изученный генофонд культуры способен предоставлять неограниченные возможности для селекции и восполнять нужды населения страны, обогащая питательный рацион такой здоровой, полезной и недорогой овощной культурой, как столовая свекла.

References / Литература

- Abegg F.A. A genetic factor for the annual habit in beets and linkage relationship. *Journal of Agricultural Research*. 1936;53(7):493-512.
- Abu-Ellail F.F.B., Salem K.F.M., Saleh M.M., Alnaddaf L.M., Al-Khayri J.M. Molecular breeding strategies of beetroot (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *conditiva* Alefeld). In: J.M. Al-Khayri, S.M. Jain, D.V. Johnson (eds). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Cham: Springer; 2021. p.157-212. DOI: 10.1007/978-3-030-66965-2_4
- Andrello M., Henry K., Devaux P., Desprez B., Manel S. Taxonomic, spatial and adaptive genetic variation of *Beta* section *Beta*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129(2):257-271. DOI: 10.1007/s00122-015-2625-7
- Bandlow G. Die Genetik der *Beta vulgaris*-Rüben. *Der Züchter*. 1955;25(4-5):104-22. [in German] DOI: 10.1007/bf00709391
- Biancardi E., Panella L.W., Lewellen R.T. *Beta maritima*: the origin of beets. New York: Springer; 2012. DOI: 10.1007/978-1-4614-0842-0
- Burenin V.I. Genetic resources of the *Beta* L. genus (Geneticheskiye resursy roda *Beta* L.). St. Petersburg; 2007. [in Russian] (Буренин В.И. Генетические ресурсы рода *Beta* L. Санкт-Петербург; 2007).
- Burenin V.I., Krasochkin V.T. Genetical aspects in beet studies. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1971;44(1):189-215. [in Russian] (Буренин В.И., Красочкин В.Т. Генетические аспекты изучения свеклы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1971;44(1):189-215)
- Burenin V.I., Piskunova T.M., Sokolova D.V. Bolting of red beet: problems and solutions. *Vegetable Crops of Russia*. 2016;2(31):33-38. [in Russian] (Буренин В.И., Соколова Д.В., Пискунова Т.М. Цветущность столовой свеклы: проблемы и пути решения. *Овощи России*. 2016;2(31):33-38).
- Burenin V.I., Pivovarov V.F. Beet (Svekla). St. Petersburg: VIR; 1998. [in Russian] (Буренин В.И., Пивоваров В.Ф. Свекла. Санкт-Петербург: ВИР; 1998).
- Burenin V.I., Sokolova D.V., Emelyanov A.V. Variability of quantitative traits of red beet varieties by ecologo-geographical study. *Sugar Beet*. 2013;(8):16-19. [in Russian] (Буренин В.И., Соколова Д.В., Емельянов А.В. Изменчивость количественных признаков сортообразцов столовой свеклы при эколого-географическом изучении. *Сахарная свекла*. 2013;(8):16-19).
- Burenin V.I., Sokolova D.V., Piskunova T.M. Gene pool for breeding monogerm table beet. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(4):45-56. [in Russian] (Буренин В.И., Пискунова Т.М., Соколова Д.В. Генофонд для селекции раздельноплодной столовой свеклы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(4):45-56). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-4-45-56
- Da Silva D.V.T., dos Santos Baião D., Ferreira V.F., Paschoalin V.M.F. Betanin as a multipath oxidative stress and inflammation modulator: a beetroot pigment with protective effects on cardiovascular disease pathogenesis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022;62(2):539-554. DOI: 10.1080/10408398.2020.1822277
- De Candolle A. Place of origin of cultivated plants (Mestoproishozhdeniye vozdel'yvayemykh rasteniy). Translation of the 2nd French edition with additions from the latest sources edited by Christopher Gobi. St. Petersburg; 1885. [in Russian] (Декандоль А. Место происхождения возделываемых растений. Перевод со 2-го французского издания с дополнениями по позднейшим источникам под редакцией Христофора Гоби. Санкт-Петербург; 1885).
- De Vilmorin M.J.L. L'hérédité chez la betterave cultivée (Heredity in cultivated beet) [dissertation]. Paris: Faculté des Sciences de Paris; 1923. [in French] DOI: 10.5962/bhl.title.15526

- Esatbeyoglu T., Wagner A.E., Schini-Kerth V.B., Rimbach G. Betanin – A food colorant with biological activity. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2014;59(1):36-47. DOI: 10.1002/mnfr.201400484
- Galewski P., McGrath J.M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population-based whole genome sequences. *BMC Genomics*. 2020;21(1):189. DOI: 10.1186/s12864-020-6451-1
- Gandia-Herrero F., Escibano J., Garcia-Carmona F. Biological activities of plant pigments betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016;56(6):937-945. DOI: 10.1080/10408398.2012.740103
- Goldman I.L., Navazio J.P. History and breeding of table beet in the United States. *Plant Breeding Reviews*. 2010;22:357-388. DOI: 10.1002/9780470650202.ch7
- Herbach K.M., Stintzing E.C., Carle R. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations. *Journal of Food Science*. 2004;69(6):491-498. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x
- Jiratanan T., Liu R.H. Antioxidant activity of processed table beets (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) and green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(9):2659-2670. DOI: 10.1021/jf034861d
- Kajanus B. Über die Farbenavriation der Beta-Rüben. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1917;5(4):357-372. [in German]
- Kajanus B. Über die Vererbungs weise gewisser Merkmale der Beta- und Brassica-Rüben. *Zeitschrift induktiven Ursprungs und Vererbungslehre*. 1914;12(1):165. [in German] DOI: 10.1007/bf01837294
- Kapadia G.J., Tokuda H., Konoshima T., Nishino H. Chemoprevention of lung and skin cancer by *Beta vulgaris* (beet) root extract. *Cancer Letters*. 1996;100(1-2):211-214. DOI: 10.1016/0304-3835(95)04087-0
- Krasochkin V.T. Beet (Svekla). Moscow: State Publishers of Agricultural Literature; 1960. [in Russian] (Красочкин В.Т. Свекла. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы; 1960).
- Krasochkin V.T. Characteristics of the Chenopodiaceae or Solanaceae family (Kharakteristika semeystva marevykh ili solyankovykh Chenopodiaceae Less.). In: *Flora of Cultivated Plants. Vol. 19. Root Plants*. Leningrad: Kolos; 1971. p.5-266. [in Russian] (Красочкин В.Т. Характеристика семейства маревых или солянковых Chenopodiaceae Less. В кн.: Культурная флора СССР. Т. 19. Корнеплодные растения. Ленинград: Колос; 1971. С.5-266).
- Lindhard E., Iversen K. Vererbung von roten und gelben Var Merkmalen bei Beta-Rüben. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1920;7(1):1-18. [in German]
- Linnaeus C. Species Plantarum. 1st ed. Stockholm: Lawrence Salvii; 1753. DOI: 10.5962/bhl.title.669
- Lutkov A.N. Experimental polyploidy as a method for creating highly productive polyploid sugar beet hybrids (Eksperimentalnaya poliploidiya kak metod sozdaniya vysokoproduktivnykh poliploidnykh gibridov sakharnoy svekly). In: A.N. Lutkov. *Experimental polyploidy in plant breeding (Eksperimentalnaya poliploidiya v selektsii rasteniy)*. Novosibirsk: Nauka; 1966. p.35-81. [in Russian] (Лутков А.Н. Экспериментальная полиплоидия как метод создания высокопродуктивных полиплоидных гибридов сахарной свеклы. В кн.: А.Н. Лутков. Экспериментальная полиплоидия в селекции растений. Новосибирск: Наука; 1966. С.35-81).
- Mangin B., Sandron F., Henry K., Devaux B., Willems G., Devaux P. et al. Breeding patterns and cultivated beets origins by genetic diversity and linkage disequilibrium analyses. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(11):2255-2271. DOI: 10.1007/s00122-015-2582-1
- Mirmiran P., Houshalsadat Z., Gaeini Z., Bahadoran Z., Fereidoun A. Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutrition and Metabolism*. 2020;17:3. DOI: 10.1186/s12986-019-0421-0
- Munerati O. L'eredità de lla tendenza annualia tanella comune barbabietola. *Züchtung*. Berlin. 1931;17(1/2):1-215. [in Italian]
- Ninfali P., Antonini E., Frati A., Scarpa E.S. C-glycosyl flavonoids from *Beta vulgaris* Cicla and betalains from *Beta vulgaris* rubra: antioxidant, anticancer and antiinflammatory activities – A review. *Phytotherapy Research*. 2017;31(6):871-884. DOI: 10.1002/ptr.5819
- Owen F.V. Cytoplasmically inherited male sterility in sugar beets. *Journal of Agricultural Research*. 1945;71(10):423-440.
- Owen F.V. Inheritance of cross- and self-sterility and self-fertility in *Beta vulgaris* L. *Journal of Agricultural Research*. 1942;64:679-698.
- Owen F.V., Ruser G.K. Some mendelian characters in *Beta vulgaris* and linkages observed in the Y-R-B group. *Journal of Agricultural Research*. 1942;65(3):155-171.
- Pivovarov V.F. Breeding and seed production of vegetable crops (Selektsiya i semenovodstvo ovoshchnykh kultur). Moscow; 1999. [in Russian] (Пивоваров В.Ф. Селекция и семеноводство овощных культур. Москва; 1999).
- Rieger R., Michaelis A. Genetic and cytogenetic dictionary (Geneticheskii i tsitogeneticheskii slovar). Moscow: Kolos; 1976. [in Russian] (Ригер Р., Михаэлис А. Генетический и цитогенетический словарь. Москва: Колос; 1967).
- Savitsky V.F. A genetic study of monogerm and multigerm characters in beets. *Proceedings of the American Society of Sugar Beet Technologists*. 1952;7:331-338.
- Savitsky V.F. Monogerm sugar beet in the United States. *Proceedings of the American Society of Sugar Beet Technologists*. 1950;6:156-159.
- Schwanitz F. Beiträge zur Züchtung und Genetik selbstfertiler Rüben (*Beta vulgaris* L.). *Der Züchter*. 1940;12(7):167-78. [in German] DOI: 10.1007/bf01811461
- Sokolova D.V. Demonstration of monogerm character in self-pollinated lines of monocarp table beet. *Sugar Beet*. 2010;(10):26-29. [in Russian] (Соколова Д.В. Особенности проявления признака раздельноцветковости у инбредных линий столовой свеклы. Сахарная свекла. 2010;(10):26-29).
- Sokolova D.V. Formation of the trait-specific group in VIR's table beet collection: environmental plasticity and stability. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(2):106-117. [in Russian] (Соколова Д.В. Формирование признаковой группы коллекции столовой свеклы ВИР: экологическая пластичность и стабильность. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018;179(2):106-117). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-2-106-117
- Sokolova D.V., Piskunova T.M. Features of self-pollinated lines of monocarp table beet (Osobennosti samoopylenykh liniy razdelnoplodnoy stolovoy svekly). *Sugar Beet*. 2008;(10):20-22. [in Russian] (Соколова Д.В., Пискунова Т.М. Особенности самоопыленных линий раздельноплодной столовой свеклы. Сахарная свекла. 2008;(10):20-22).
- Sokolova D.V., Solovieva A.E. Promising initial material for breeding of beet varieties with a high content of betanin. *Agrarian Russia*. 2019;(8):26-32. [in Russian] (Соколова Д.В., Соловьева А.Е. Перспективный исходный

- материал для селекции сортов свеклы с высоким содержанием бетанина. *Аграрная Россия*. 2019;(8):26-32). DOI: 10.30906/1999-5636-2019-8-26-32
- Soldatenko A.V., Musaev F.B., Sokolova D.V. The 100th anniversary of the Federal Scientific Vegetable Center, the leader of Russian scientific vegetable growing. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):156-166. [in Russian] (Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б., Соколова Д.В. Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):156-166). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166
- Stintzing F.C., Carle R. Betalains – emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science and Technology*. 2007;18(10):514-525. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.04.012
- Tesorieri L., Allegra M., Butera D., Livrea M.A. Absorption, excretion, and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: potential health effects of betalains in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2004;80(4):941-945. DOI: 10.1093/ajcn/80.4.941
- Vavilov N.I. Breeding as a science (Selektsiya kak nauka). Moscow; Leningrad: State Publishers of Collective and State Farm Literature; 1934. [in Russian] (Вавилов Н.И. Селекция как наука. Москва; Ленинград: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы; 1934).
- Von Lippmann E.O. Geschichte der Rübe (*Beta*) als Kulturpflanze. Berlin; Heidelberg: Springer; 1925. [in German] DOI: 10.1007/978-3-642-91907-7
- Wagner H., Weber W.E., Wricke G. Estimating linkage relationship of isozyme markers and morphological markers in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) including families with distorted segregations. *Plant Breeding*. 1992;108(2):89-96. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1992.tb00106.x
- Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi). 2nd ed. Moscow; 1964. [in Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. 2-е изд. Москва; 1964).
- Zosimovich V.P. Wild species and origin of cultivated beets (Dikiye vidy i proiskhozhdeniye kulturnoy svekly). *Sveklodstvo = Beet Growing*. 1940;(1):45-59. [in Russian] (Зосимович В.П. Дикие виды и происхождение культурной свеклы. *Свекловодство*. 1940;(1):45-59).

Информация об авторе:

Диана Викторовна Соколова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

Information about the author:

Diana V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

Статья поступила в редакцию 22.09.21; одобрена после рецензирования 01.03.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 22.09.21; approved after reviewing on 01.03.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Научная статья

УДК 631.52+632.91+910.4+930

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-251-261



ВИР и Ленинградская карантинная лаборатория: 90 лет сотрудничества

Е. В. Другова, Т. М. Озерская

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Михайловна Озерская, t.ozerskaya@vir.nw.ru

Обсуждается история становления Ленинградской карантинной лаборатории как подразделения фитосанитарных служб СССР и Российской Федерации, а также история ее взаимодействия и сотрудничества с Всесоюзным институтом растениеводства [ныне Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, (ВИР)]. Излагаются предпосылки создания лаборатории, основные направления ее деятельности, происходившие с ней изменения.

На протяжении всей своей деятельности Ленинградская карантинная лаборатория тесно сотрудничала с ВИР; 75 лет она располагалась в тех же самых стенах, что и институт. Это соседство значительно упрощало и делало оперативным доступ специалистов в области карантина и защиты к растительному материалу, поступающему в институт. Тем самым было достигнуто уникальное сочетание фитосанитарной безопасности и научно-исследовательской деятельности. Лаборатория при этом сама стала важным научно-исследовательским учреждением, публиковавшим научные работы и методические указания в области защиты растений.

В ходе этой деятельности сотрудниками лаборатории были разработаны новые и усовершенствованы существовавшие методы контроля фитосанитарного состояния растительного материала и борьбы с вредителями, сорняками и фитопатогенными микроорганизмами. Руководства, справочники и определители, написанные сотрудниками лаборатории, до сих пор являются настольными книгами для специалистов в области карантина и защиты растений. Лаборатория имела также и большое значение как место повышения квалификации таких специалистов. Все это стало возможным в значительной мере благодаря работе с образцами, поступающими в коллекцию ВИР.

Ключевые слова: история, карантинная экспертиза, интродукция растений, коллекция ВИР, фитосанитарная безопасность

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0006 «Раскрытие научного потенциала гербарной коллекции ВИР как особой специфической единицы хранения мирового агробиоразнообразия для научно обоснованной мобилизации, эффективного изучения и сохранения генофонда».

Авторы благодарят Любовь Анатольевну Наумову, главного герболога лаборатории карантина растений ФГБУ «Ленинградская МВЛ», за просмотр рукописи и ценные замечания.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Другова Е.В., Озерская Т.М. ВИР и Ленинградская карантинная лаборатория: 90 лет сотрудничества. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):251-261. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-251-261

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-251-261

VIR and Leningrad Quarantine Laboratory: 90 years of cooperation

Elena V. Drugova, Tatiana M. Ozerskaya

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Tatiana M. Ozerskaya, t.ozerskaya@vir.nw.ru

The history of Leningrad Quarantine Laboratory, a subdivision of the Soviet and Russian phytosanitary services, is discussed. Its interaction and cooperation with the All-Union Research Institute of Plant Industry (later: N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, VIR) are reviewed. The background of the need to organize such laboratory, its main activities, and the changes that followed are also explained.

Leningrad Quarantine Laboratory has always closely collaborated with VIR. It has been accommodated within the Institute's premises for 75 years. Such proximity has facilitated and accelerated the access to the plant germplasm received by VIR for plant protection and quarantine experts. Thus, a unique combination of phytosanitary safety and research activities was achieved. At the same time, the laboratory turned out to be an important research institution, publishing scientific works and methodological guidelines in the field of plant protection.

In the course of its activities, the laboratory staff improved the existing methods and developed new ones for phytosanitary control of plant germplasm and its protection against pests, weeds, and pathogenic microorganisms. Manuals, directories, and identification guides written by the laboratory staff still remain the reference books for quarantine and plant protection experts. The laboratory was also very important as a qualification improvement facility for such experts. All these functions have become possible because of the work with plant germplasm that arrived to the VIR collection.

Keywords: history, quarantine expertise, plant introduction, the VIR collection, phytosanitary safety

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0006 "Disclosing the scientific potential of the herbarium collection at VIR as an independent specific unit of worldwide agricultural biodiversity conservation for scientifically justified mobilization, effective studying and preservation of genetic diversity".

The authors would like to express their appreciation to Lyubov A. Naumova, Chief Herbologist of Leningrad Interregional Veterinary Laboratory, for reviewing the manuscript and valuable comments.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Drugova E.V., Ozerskaya T.M. VIR and Leningrad Quarantine Laboratory: 90 years of cooperation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):251-261. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-251-261

Введение

Карантин растений в мире не обладает столь же длительной историей, как карантин, связанный с опасными для человека болезнями, которые свирепствовали в Средневековье. Тем не менее еще в XIX веке в Европе были озабочены проникновением из Америки вредителя – виноградной филлоксеры *Dactylosphaera vitifoliae* (Fitch), к которой не было устойчивости у европейских сортов винограда. Проблемы возникали также при завозе хлопчатника из Африки и картофеля из Америки. В России выходили отдельные указы, касающиеся карантина, – по филлоксере в 1873 г. и о запрете ввоза картофеля в 1875 г. – однако не велось систематической работы по растительному карантину. В 1910 г. в Риме прошла первая международная конференция по борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных растений. Там же в 1929 г. была принята конвенция по карантину и защите растений, которая имела целью охватить всю систему, выработать совместные меры борьбы и наладить обмен сведениями между странами.

Наша страна долгое время не участвовала в этих международных соглашениях. Так, несмотря на то что представлявший Россию на конференции 1914 г. известный специалист-миколог профессор А. А. Ячевский впоследствии предложил Департаменту земледелия проект закона об охране России от завоза из-за границы опасных вредителей и болезней растений, этот проект был отклонен правительством из-за необходимости больших затрат. Позднее СССР не присоединился к конвенции 1929 г., в результате чего долгое время не был защищен в достаточной степени от завоза зараженной продукции. Только в 1956 г. СССР присоединился к следующей международной конвенции, принятой в 1951 г. (Voronkova et al., 1986).

Тем не менее в целом в России прикладная сельскохозяйственная наука активно развивалась по меньшей мере с конца XIX века. Еще в 1894 г. было учреждено Бюро по прикладной ботанике, в состав которого входил акклиматизационный отдел, ставивший целью введение в культуру новых видов и сортов растений. Начался сбор образцов семян культурной флоры из разных регионов России. Стали поступать и первые иностранные образцы, привезенные из командировок и служебных поездок. С 1912 г. бюро проводило исследование Центральной Азии, откуда было привезено множество образцов зерновых и других культур. С 1922 г. по инициативе Николая Ивановича Вавилова, к тому времени заведующего Отделом прикладной ботаники и селекции Государственного института опытной агрономии, начинается масштабная экспедиционная деятельность во многих странах мира (Loskutov, 2009).

В 1920 г. Н. И. Вавиловым был сформулирован закон гомологических рядов в наследственной изменчивости, а в 1926 г. теоретически обосновано учение о центрах происхождения культурных растений. Эти идеи, признанные всей мировой научной общественностью, во-первых, повысили авторитет отечественной сельскохозяйственной науки, во-вторых, показали важность сбора и изучения как можно большего количества разнообразных образцов родичей культурных растений по всему миру. Необходимость создания единой карантинной службы в стране назревала также в связи с освоением новых районов земледелия, подъемом целинных земель, расширением торговых связей.

Н. И. Вавилов очень хорошо понимал риск завоза иностранных вредителей и заболеваний вместе с привлеченными в коллекцию образцами. Об этом он писал следующее: «Развертывание широкой интродукции новых растений и сортов должно идти одновременно с созданием карантина во избежание ввоза с новыми растениями и сортами и новых паразитов, новых вредителей. Организация карантинной инспекции составляет непременную составную часть интродукции растений. Каждая посылка семян из-за границы должна быть осмотрена энтомологами и фитопатологами. Зараженные растения должны подвергаться фумигации, обрабатываться фунгицидами и инсектицидами. В случае сомнений материал должен быть направлен для исследования в специальные карантинные питомники. Необходима организация специальных карантинных вегетационных домов. Вот почему ввоз растений из-за границы должен быть централизован, строго контролируемым» (Vavilov, 1935, p. 70). В 1929–1930 гг., еще до создания государственной карантинной службы, в структуре отдела интродукции ВИР уже функционировала секция карантина¹.

История создания карантинной лаборатории

В ноябре 1931 г. на основе Всесоюзного объединения по борьбе с вредителями и болезнями сельского хозяйства (ОБВ) Ленинградской области и Карельской АССР постановлением Народного комиссариата земледелия СССР была учреждена Ленинградская областная инспекция по карантину растений. Начальником инспекции, по выражению Н. И. Вавилова, «первым карантинным инспектором СССР», стал А. Д. Соколов. Вслед за учреждением инспекции, в начале 1932 г., была организована первая карантинная лаборатория в стране – в Ленинграде, в здании ВИР на Большой Морской, 44. Она не являлась подразделением ВИР, а подчинялась непосредственно Ленинградской карантинной инспекции. Но роль Всесоюзного института растениеводства и Н. И. Вавилова в ее организации и деятельности была огромной. Н. И. Вавилов предоставил лаборатории не только помещения в здании института рядом с Отделом интродукции и новых культур, но и мебель, и оптику. Также он передал в постоянное пользование лаборатории привезенную им из США вакуумную фумигационную камеру для обеззараживания семян и черенков (<https://vetlab.spb.ru/o-nas/istoricheskaya-spravka>). Камера располагалась тогда на Невском проспекте в доме 17.

О внимании Н. И. Вавилова к вопросам организации карантина свидетельствует также его переписка с зарубежными коллегами, например с доктором Райерсоном, главой Бюро растениеводства Департамента земледелия США. В письме от 7 июля 1932 г. Райерсон по просьбе Н. И. Вавилова подробно рассказывал о правилах карантина в США, об исключениях для ввоза материала в научных целях, вследствие чего снимались ограничения в получении. Райерсон описал специальное «карантинное помещение», где сотрудники бюро совместно с представителями карантинной службы осматривали все посылки и при необходимости тут же их обеззараживали. Живые растения выращивались в специальных «карантинных домиках» отдела интродукции при периодической проверке работниками карантина. «Если Вы сможете

¹ Здесь и далее названия подразделений ВИР приводятся как они были в соответствующем году, согласно «Исторической справке к описи № 1 от 14 мая 1962 года» (Historical reference..., 1963). Отдел интродукции – 1929 г.; Отдел интродукции и новых культур – 1931 г.; Отдел новых культур – 1935 г.

обеспечить создание собственных карантинных домиков для выращивания растительного материала под Вашим руководством и Вашим персоналом, то это в огромной степени упростит проблемы и обеспечит максимальное количество живого материала», – советовал Райерсон (Ryerson, 2000, p. 293). Собственные карантинные оранжереи и питомники были созданы ВИР позднее. Организация лаборатории в стенах ВИР была оптимальным решением. Следует отметить, что согласно Постановлению Коллегии НКЗ СССР от 5.06.1931 г. «Об организации при НКЗ СССР единой карантинной службы», право ввоза в нашу страну посевного и посадочного материала для всех научно-исследовательских учреждений предоставлялось единственному учреждению – ВИР (Efimov et al., 1937; Magomedov, Mordkovich, 2012)² (рис. 1).

тельной продукции для Советского Союза. В лаборатории проводили анализ импортных образцов и карантинную экспертизу всех образцов семян и посадочного материала, отправляемых на экспорт, а также экспертизу образцов, поступающих в Ленинградскую область из карантинных зон СССР. О колоссальном объеме работ и эффективности деятельности лаборатории говорят, например, такие цифры: в период с 1931 по 1951 г. было выявлено свыше 14 тысяч образцов, зараженных вредителями и болезнями, в том числе обнаружено 33 вида карантинных объектов в 744 образцах (Sokolov, 1952).

Одной из важных задач работы карантинной лаборатории был фитосанитарный анализ семенного и посадочного материала, поступавшего в отдел интродукции ВИР. Специалисты лаборатории проверили карантинное

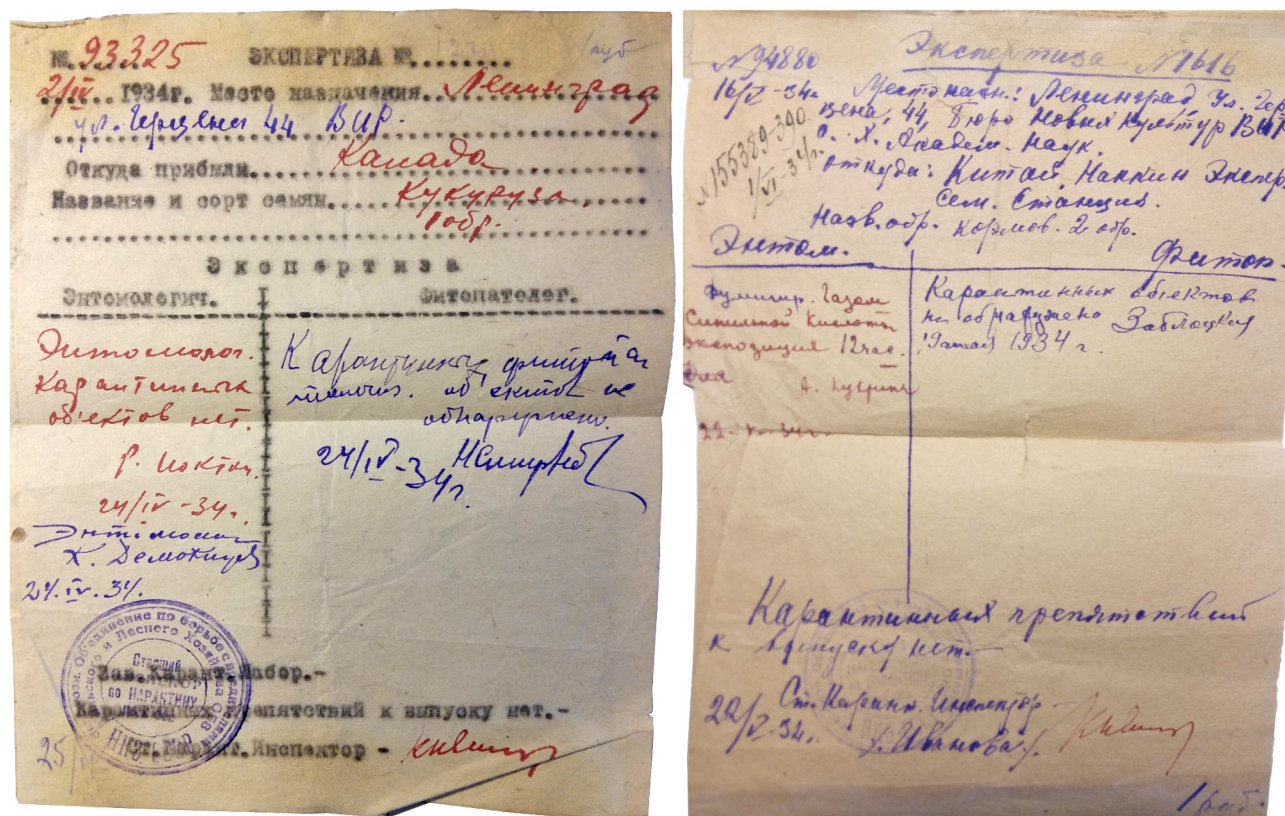


Рис. 1. Протоколы карантинных экспертиз, 1934 г.

Fig. 1. Records of quarantine expert examinations, 1934

Цели и задачи карантинной лаборатории

Карантинные меры основаны на перечне опасных вредителей и болезней растений, нежелательных к ввозу в страну. Первый перечень для внешнего карантина был утвержден в 1935 г., перечень объектов внутреннего карантина – в 1937 г. (Efimov et al., 1937; Voronkova et al., 1986). Без преувеличения можно сказать, что Ленинградская карантинная лаборатория являлась не только первой в стране, но и важнейшей: ведь в порты Ленинграда поступала значительная часть всей импортной расти-

стояние всей коллекции ВИР, насчитывавшей тогда около двухсот тысяч образцов. Было выявлено, что около 60% семян коллекции ВИР содержали семена сорных растений (Magomedov, Mordkovich, 2012). Интродуцируемый в ВИР растительный материал сыграл огромную роль в приобретении опыта специалистами лаборатории, их научной деятельности и создании уникальной энтомологической, фитопатологической и карпологической коллекции.

Научно-исследовательская деятельность лаборатории

Н. И. Вавилов подчеркивал, что специалист по карантину «должен быть на голову выше любого агронома по защите растений». Работа в карантинной лаборатории была чрезвычайно сложной и требовала обширных знаний, так как приходилось иметь дело с представителями мировой флоры и фауны многих совершенно не изучен-

ных регионов Земли. Методики карантинной экспертизы, идентификации вредителей и болезней, обеззараживания растительных материалов разрабатывали сами специалисты лаборатории. Практически не было русскоязычной литературы по опасным карантинным вредителям. Приходилось изучать и переводить гигантское количество иностранных источников. Результатом этого труда и собственного опыта при нахождении, идентификации и описании видов вредных организмов явились определители и справочники, многими из которых специалисты карантинной службы пользуются по сегодняшний день.

Особенно важен вклад первых специалистов карантинной лаборатории – энтомологов А. А. Варшало́вича, М. К. Дьямандиди, В. А. Эйхельбергера, Н. С. Борхсениуса, фитопатологов К. А. Бенуа, В. Н. Бондарцевой-Монтеверде, Л. С. Гутнер, ботаника М. И. Заводчиковой (<https://vet-lab.spb.ru/o-nas/istoricheskaya-spravka>). Их разработки лежат в основе многих методов, используемых до сих пор. Надо отметить, что часть сотрудников перешли в карантинную лабораторию из штата ВИР, так что начинали не с нуля, а уже имея опыт научно-исследовательской работы, таковы, например, К. А. Бенуа, Н. С. Яковлева, В. П. Красулин, Н. В. Молитвина. Николай Сергеевич Борхсениус по совместительству являлся временным консультантом отдела новых культур ВИР. Фитопатолог Карл Александрович Бенуа был научным сотрудником лаборатории микологии и фитопатологии им. А. А. Ячевского Государственного института опытной агрономии; в 1932 г., до перехода на работу в карантинную лабораторию, он числился старшим научным сотрудником отдела новых культур ВИР. В бытность сотрудником ВИР К. А. Бенуа много работал в экспедициях, изучая паразитические грибы и устойчивость к ним культурных растений, был видным ученым, членом микологической секции Русского ботанического общества. Несомненно, он мог бы еще многое сделать для развития карантинной фитопатологии, но был арестован в 1937 г. (за антисоветскую агитацию, дело отменено в 1956 г.). Из Сиблага он не вернулся, умер в 1943 г. Многие его научные материалы остались неопубликованными (Chernysheva, Valiev, 2018).

В должности фитопатолога в лаборатории работала Вера Николаевна Бондарцева-Монтеверде. В 1936 г. под ее редакцией был опубликован сборник «Паразитные грибы оранжерей Ботанического института Академии Наук СССР» (Bondartseva-Monteverde et al., 1936), в котором были впервые представлен обширный список грибов, поражающих растения в закрытом грунте, в том числе описано 26 новых видов.

Наталья Сергеевна Яковлева, также фитопатолог, сотрудник ВИР до 1935 г., изучала биологию предполагаемых к внесению в список карантинных объектов возбудителей болезней древесных и кустарниковых пород. Ею был составлен раздел «Фитопатологическая экспертиза» методики карантинного досмотра и лабораторной экспертизы растительных материалов. Совместно с А. А. Варшало́вичем Н. С. Яковлева работала над адаптацией метода люминесцентного анализа для выявления возбудителей грибных заболеваний растений и вирусных болезней картофеля.

Отдельного упоминания заслуживает Александр Александрович Варшало́вич. Он был поистине универсальным специалистом. Круг его деятельности охватил практически все группы насекомых-вредителей. Им были изучены все потенциально возможные вредите-

ли и болезни, написаны руководства по досмотру и экспертизе подкарантинной продукции, разработаны определительные таблицы по жукам и личинкам – вредителям запасов, по гусеницам, повреждающим хранящиеся продукты и свежие фрукты и овощи; созданы справочники по вредителям и болезням луковичных и корневищных цветочно-декоративных и технических культур. А. А. Варшало́вич также разработал методику обследования складов хранения импортного подкарантинного сырья и продукции, методики определения вредителей картофеля в клубнях и в поле и многое другое. Именно на основе его определителей был издан справочник-определитель карантинных и других опасных вредителей сырья, продуктов запаса и посевного материала, являющийся настольной книгой каждой карантинной лаборатории (Mordkovich, Sokolov, 1999). «Руководство по досмотру и экспертизе растительных и других подкарантинных материалов» (Varshalowich, Shamonin, 1972) остается наиболее полным источником практических знаний и сейчас аккредитовано в качестве нормативной документации при проведении исследований для специалистов карантинной лаборатории.

Крупнейший специалист по кокцидам (Coccoidea) Николай Сергеевич Борхсениус совместно с А. А. Варшало́вичем в 1936 г. выпустил обзор главнейших вредителей оранжерейных растений и создал методику их карантинной экспертизы. В 1950 г. издательством Академии наук СССР в серии «Фауна СССР» был опубликован справочник-определитель кокцид, созданный Н. С. Борхсениусом на основе собственных сборов, материалов обследований и экспертиз, а также изучения коллекции Зоологического института АН СССР. В 1971 г. выпущен составленный им «Практический определитель кокцид». Эти справочники до сих пор являются наиболее удобными для использования в практической работе специалистами защиты и карантина растений.

Почти с первых дней существования карантинной лаборатории ее сотрудники работали над усовершенствованием методов экспертизы и применения для этого технических средств и изобретений. Так, в 1936–1937 гг. М. И. Шевченко разрабатывал методику применения рентгеновских лучей и пограничных лучей Букки для анализа клубней, луковиц и черенков. Эти методы нашли применение для предотвращения завоза с клубнями картофеля опасных видов южноамериканских долгоносиков и картофельной моли. А. А. Варшало́вич первым в России приспособил и применил рентгеноаппарат для экспертизы на скрытую зараженность вредителями семян хлопчатника и зернобобовых, а также для обнаружения грибных заболеваний семян ряда культур. Позднее метод рентгенографии был описан им в нескольких работах (Varshalowich, 1958). В лаборатории также работали над применением метода люминесцентной микроскопии для фитопатологической экспертизы (Varshalowich, Yakovleva, 1961).

Специалисты карантинной лаборатории уделяли большое внимание разработке методов обеззараживания семян и живых растений. Были опробованы такие методы, как газовая фумигация (цианидом натрия, сероуглеродом, дихлорэтаном, бромистым метилом), выдерживание живых растений в горячей воде, термохимический метод (Maslov et al., 2007). По результатам работ, проводившихся в 1932–1937 гг. с использованием принадлежавшей ВИР фумигационной камеры, специалисты лаборатории создали «Практическое руководство при работе вакуумкамеры». В то же время применение хими-

ческих и физических методов не решало всех проблем. Так, уже в 1930-е годы обратили внимание на устойчивость мучнистых червецов (*Pseudococcidae*) к химическим препаратам. Впоследствии одним из эффективных методов борьбы с этими вредителями стал биологический – выпуск хищного жука криптолемуса (*Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant). Биометод позволил снизить долю химических обработок в теплицах и был безопасным для растений. Работа Ленинградской карантинной лаборатории по разведению и использованию криптолемуса началась в 1934 г. Исходный материал энтомофагов получили из Всесоюзного института защиты растений и разводили в лабораторном инсектарии. Этот инсектарий, а также карантинная оранжерея располагались над третьим этажом здания ВИР на Большой Морской, 44 в чердачном помещении. По данным годовых отчетов карантинной лаборатории, с 1934 по 1940 г. энтомофаги ежегодно выпускались в оранжерею БИН. В 1939 г. было выпущено 32 000 жуков в Ботаническом саду и еще в четырех оранжерейных хозяйствах Ленинграда. К 1940 г. вредителя удалось полностью ликвидировать в пяти оранжереях БИН, в остальных численность червецов была значительно снижена. На это же время приходится испытание Ленинградской карантинной лабораторией и Ботаническим садом энтомопатогенного гриба *Lecanicillium lecanii* (Zimmerman) Zare et W. Gams против нескольких видов ложнощитовок. Впоследствии на его основе был разработан биопрепарат вертициллин.

Обеспечение фитосанитарной безопасности образцов коллекции ВИР

Карантинные правила ввоза импортных растительных материалов в 30-40-е годы XX века были довольно жесткими. Под запретом был ввоз картофеля, всех клубне- и корнеплодов, а также почвы хотя бы в незначительных количествах, каких бы то ни было подземных частей живых растений в сосудах или таре с почвой (Efimov et al., 1937). Единственным исключением был ВИР, которому разрешались пересылка и испытание новых образцов на строго изолированных участках под контролем карантинной службы. Это была одна из причин создания карантинных питомников для ввозимых растений. Первый в стране такой питомник возник в Ленинградской области. Участок семенного хозяйства «Красный пахарь» деревни Пязелево был передан ВИР Северным государственным семенным рассадником (Госсемирассадник) в 1926 г. В 1933 г. ему присвоили название Ленинградский отдел института «Красный пахарь». По постановлению НКЗ СССР от 31.03.1933 г. на нем организовали карантинный участок по картофелю. В то время в СССР большое опасение вызывала возможность завоза отсутствовавших тогда колорадского жука, картофельной моли, картофельной нематоды и рака картофеля. На участке изучались южноамериканские образцы картофеля, собранные сотрудниками ВИР в экспедициях. Некоторые дикие виды картофеля выделялись устойчивостью к вредителям и заболеваниям, в том числе к колорадскому жуку, картофельной и стеблевой нематоде, раку картофеля, фитофторе.

Одним из примеров эффективного сотрудничества ученых ВИР и карантинной службы являлась борьба с раком картофеля. Как известно, наша страна избежала большого ущерба от этого заболевания в результате своевременного создания ракоустойчивых сортов. Огромный вклад в успех этого мероприятия вложил известный ученый, сотрудник отдела клубнеплодов ВИР

Вадим Степанович Лехнович. Еще в 1930-е годы он обобщил все имеющиеся сведения, провел оценку на устойчивость к этому заболеванию отечественных и иностранных сортов картофеля, многое сделал для организации размножения ракоустойчивых сортов в Ленинградской области и по всей стране. Во введении ко второму изданию монографии «Ракоустойчивые сорта картофеля» он писал: «Лучшим средством защиты картофелеводства от рака картофеля явилось и является сейчас строгое и добросовестное соблюдение карантинных правил, размножение и внедрение ракоустойчивых сортов» (Lekhnovich, 1954, p. 5). Эти слова свидетельствуют о понимании того, что обе структуры – и карантин, и научно-исследовательский институт – выполняют одну и ту же задачу: успешное развитие сельского хозяйства в стране и успешную защиту культур от вредных организмов. В. С. Лехнович отвечал за карантинный досмотр ввезенных в ВИР зарубежных образцов картофеля, организовывал создание карантинной оранжереи в здании института, а позже и карантинной теплицы при Павловском интродукционно-карантинном питомнике (Zykin, 2017).

В годы Великой Отечественной войны по распоряжению НКЗ СССР имущество Ленинградской карантинной лаборатории и ее библиотека были эвакуированы из Ленинграда в Омск и сданы на хранение во временно переведенную туда же из Москвы Центральную карантинную лабораторию. После войны часть имущества была возвращена (<https://vetlab.spb.ru/o-nas/istoricheskaya-spravka>). В блокадном Ленинграде карантинная лаборатория продолжала функционировать, несмотря на то что, согласно годовому отчету за 1941 г., весь коллектив инспекции и лаборатории вместе взятых составлял всего 12 человек. Ученые ВИР и специалисты карантина даже в эти тяжелые времена думали о будущем сельского хозяйства страны. По просьбе ВИР в 1941 г. были забронированы на семенные цели 50 т картофеля ракоустойчивого сорта 'Берлихинген' на Первом овощном комбинате. Совместно с учеными ВИР работники инспекции держали его под своим контролем. К весне 1942 г. около 35 т сохранившегося картофеля было распределено между совхозами и подсобными хозяйствами области. Мировая коллекция ВИР была сохранена в годы блокады благодаря самоотверженным усилиям сотрудников института. Коллекция картофеля ВИР, с риском для жизни сохраненная В. С. Лехновичем, А. Я. Камеразом, О. А. Воскресенской и другими, позволила продолжить работу по созданию ракоустойчивых и нематодоустойчивых сортов.

В послевоенный период, с 1946 по 1957 г., появились полноценно функционирующие интродукционно-карантинные питомники для проверки на скрытую инфекцию всех импортных семян и посадочного материала, поступающих в ВИР, и их первичного изучения и размножения. При этом существовал запрет на передачу оригинальных образцов некоторых культур, например льна и хлопчатника, в ресурсные отделы во избежание риска передачи карантинных болезней и вредителей. В этих случаях следовало передавать только здоровую репродукцию.

С 1951 г. начал принимать на проверку образцы различных культур интродукционно-карантинный питомник в составе Павловской опытной станции ВИР (ИКП Павловской ОС ВИР). Испытания образцов картофеля из зарубежных стран проводились в первый год изучения в карантинной оранжерее Павловского ИКП, а во второй год – в открытом грунте. Со времени создания ИКП Павловской ОС специалисты Ленинградской карантинной лаборатории ежегодно проводили обследо-

дования его территории и курировали фитосанитарное состояние.

Всего в составе опытных станций ВИР функционировали семь интродукционно-карантинных питомников: ИКП Павловской (1951 г.), Кубанской (1946 г.), Майкопской (1946 г.), Устимовской (Украина; 1956 г.), Сухумской (Грузия; 1956 г.), Туркменской (1947 г.) опытных станций ВИР и Среднеазиатского филиала ВИР (Узбекистан; 1946 г.). Сейчас в структуре ВИР их осталось три: Павловский ИКП, ИКП Кубанской и Майкопской опытных станций.

Интродукционно-карантинные питомники играют важную роль в выявлении скрытой зараженности растений, которую не всегда возможно обнаружить при лабораторной экспертизе семян и посадочного материала. В зависимости от культуры проверка на скрытую зараженность занимает от одного года (однолетние) до трех (плодовые) лет. В это время оригинальный образец находится в хранилище отдела интродукции до получения результатов из ИКП и только после этого передается в ресурсный отдел (рис. 2).

ного и посадочного материала на территории России» было выпущено Государственной инспекцией по карантину растений РФ в 1994 г. (Rules for the protection..., 1996). К сожалению, с тех пор карантинная служба не выпускала методических материалов о проверке импортных образцов, хотя необходимость этого обусловлена значительно расширенным и обновленным перечнем карантинных организмов и постоянным изменением распространения карантинных объектов в мире.

Научно-практическое сотрудничество

Начиная с 1950-х годов специалисты лаборатории проводили занятия по методикам лабораторной экспертизы на факультете повышения квалификации Ленинградского сельскохозяйственного института. Наибольшую преподавательскую нагрузку несла на себе старший энтомолог Анна Петровна Павлова. До конца 1980-х годов она обучила не одно поколение специалистов со всех концов страны. Помимо этого, все специалисты лаборатории, используя материалы, собранные в том числе при экспертизе коллекции ВИР, обучали инспекторов Ленин-



Рис. 2. Схема движения интродуцируемых образцов

Fig. 2. Movement scheme of the introduced plant germplasm

Карантинной службой и ВИР неоднократно издавались методические рекомендации о порядке проверки импортных семян и посадочного материала. Последние «Рекомендации по изучению зарубежных образцов сельскохозяйственных культур на интродукционно-карантинных питомниках», подготовленные специалистами ВИР, были опубликованы в 1986 г. Последнее «Положение о порядке карантинной проверки импортного семен-

градской и других областных карантинных инспекций. Ежегодно в лаборатории повышали квалификацию 60–70 инспекторов.

Ленинградская карантинная лаборатория осуществляла не только практическую деятельность, но и научно-исследовательскую работу. По данным В. А. Нестерова, подготовленным для издания книги по истории карантинной лаборатории (к сожалению, до сих пор не

опубликованной; некоторые материалы имеются на официальном сайте МВЛ <https://vetlab.spb.ru/o-nas/istoricheskaya-spravka>), за период с 1931 по 1980 г. были проведены работы по 170 научно-исследовательским темам (53 энтомологических, 38 фитопатологических, 6 бактериологических, 3 вирусологических, 6 гельминтологических, 9 по сорным растениям). Разработано 25 методов экспертиз, 30 методов борьбы, составлено более 30 литературных сводок, обзоров, методических руководств, справочников и определителей вредителей и болезней растений, опубликовано 172 печатные работы. При этом штат сотрудников лаборатории не превышал 18–20 человек вместе с техническим персоналом. По данным ежегодных отчетов карантинной лаборатории, с 1932 по 1980 г. досмотрели и проанализировали 4,81 миллионов образцов, из них 883 тысячи – импортной продукции, 3,3 миллионов – отечественной и более 638 тысяч – отправляемой на экспорт. Было обнаружено 94 вида карантинных объектов в 5334 образцах из 69 стран и 48 видов, отсутствующих в СССР, в 547 образцах.

В настоящее время в карантинной лаборатории коллекция видов патогенных и близких к ним организмов насчитывает свыше 4 тысяч единиц. Этим богатством и разнообразием коллекционного материала карантинная лаборатория во многом обязана экспедиционным сборам ВИР. Особенно много видов насекомых завозились вместе с экспедиционными образцами из-за рубежа. Они представляли разную степень опасности для хранящихся семян, поэтому своевременное обнаружение и правильная идентификация насекомых стали приоритетными задачами.

Для семенных коллекций ВИР наибольшую опасность и по сей день представляют так называемые амбарные насекомые-вредители или вредители запасов (хранящейся продукции). Большая часть видов таких вредителей вместе с перевозимым зерном и другими продуктами давно расселилась по всем континентам и является космополитами. Например, амбарный долгоносик *Sitophilus granarius* (L.), чья родина является Индия, проник в Египет еще во времена фараонов. Почти все вредящие семенам насекомые – выходцы из стран с круглогодичным жарким климатом. Характерной особенностью группы амбарных вредителей считается их способность к непрерывному развитию в отапливаемых помещениях без дополнительного питания на живых растениях. Это приводит к проблемам при попадании даже единичных особей в семенную коллекцию. При задержке поступления семян на карантинную экспертизу и несвоевременном их обнаружении образец может быть уничтожен практически полностью. Не имеет особого значения, отсутствующий ли это в России вредитель или повсеместно распространенный, – необходимо срочное принятие мер. Как правило, это должна быть фумигация образца.

Семенам может вредить обширный круг насекомых разных видов, семейств и отрядов. Большую проблему для отделов генетических ресурсов ВИР представляют жуки семейств зерновок (Bruchidae) и кожеедов (Dermestidae). Неоднократно были зафиксированы случаи поступления образцов зернобобовых, зараженных карантинным видом – четырехпятнистой зерновкой *Callosobruchus maculatus* (Fabricius), в том числе с опытных станций ВИР юга России. Также нередко в отделе зернобобовых повреждает образцы обыкновенная фасоловая зерновка *Acanthoscelides obtectus* (Say). Эти виды вреди-

телей крайне необходимо выявлять, так как они обладают способностью к непрерывному развитию на сухих семенах и могут полностью уничтожить весь образец. На протяжении многих лет для обнаружения скрытой зараженности семян зернобобовых в лаборатории использовалась рентгеноскопическая экспертиза. Жуки-зерновки были объектом интереса энтомологов карантинной лаборатории на протяжении длительного времени. Первый справочник по их идентификации был составлен Е. А. Песоцкой в 1948 г. Затем жуки-зерновки стали основной темой научной работы Т. С. Спириной. Ее опыты по изучению развития этих насекомых в лабораторных условиях привели к открытию существования полиморфизма у четырехпятнистой зерновки *Callosobruchus maculatus* (Spirina, 1974). Это наблюдение имеет важное значение для понимания микроэволюционных процессов. Большой энтузиаст и талантливый исследователь, Т. С. Спирина вложила много сил в изучение и других семейств жуков-вредителей семян и хранящихся продуктов, в пополнение и поддержание энтомологической коллекции.

Многие виды семейства кожеедов, к которым относятся и карантинный объект капрвовый жук *Trogoderma granarium* Everts, несмотря на название, являются многоядными вредителями и питаются семенами овощных, зерновых, кормовых и прочих культур. Личинки жуков этого семейства подвижны и могут легко передвигаться по помещению. Устойчивость личинок к неблагоприятным условиям среды (низкая влажность, низкие, даже отрицательные температуры) и способность долгое время выживать без пищи стали одним из факторов их широкого распространения. В образцах коллекции и вновь поступающем материале постоянно обнаруживаются некарантинные виды родов *Trogoderma* Dejean, *Reesa* Beal и *Attagenus* Latreille. С 2002 по 2015 г. выявлены 11 видов этого семейства Dermestidae в 479 образцах различных культур (Klishina, Drugova, 2017). Кожеед рееса *Reesa vespulae* (Milliron) настолько хорошо обосновался в ВИР, что стал наиболее часто встречаемым видом насекомого. Так, по нашим данным, с 1986 по 2010 г. этим вредителем были заражены более 400 образцов (Drugova, Kapustkin, 2011).

Проблема повреждения вредителями усугубляется тем, что в настоящее время ни на одном из филиалов ВИР не проводится фумигация репродукции образцов перед отправкой в центр. Репродукция поступает в ресурсные отделы ВИР, и таким образом создается опасность заражения образцов коллекции. В прежние годы вся репродукция семян сразу поступала в карантинную лабораторию, фумигация всех образцов, поступающих с южных опытных станций ВИР, была обязательной. В составе лаборатории был специалист-фумигатор. До 1980-х годов в этой должности работал Валентин Анатольевич Нестеров, который затем возглавил лабораторию и руководил ею вплоть до ее переезда из здания ВИР в 2007 г. Вопросы фумигации, как и все другие вопросы взаимодействия с отделом интродукции и кураторами коллекций из ресурсных отделов, решались им безотлагательно, иногда сразу же в день возникновения проблемы.

Специалисты-энтомологи карантинной лаборатории регулярно обследовали помещения ВИР на выявление вредителей. Кроме того, они систематически просматривали коллекции отдела зернобобовых культур. Была принята практика периодической фумигации отдельных помещений ВИР. В настоящее время необходимость этих мероприятий не только не исчезла, но даже возросла.

Разработанные в институте нормативные документы служебного пользования – временное положение об обмене и рассылке образцов из коллекции ГНУ ВИР Россельхозакадемии в зарубежные страны от 17.11.2011 и порядке отправки образцов из коллекции ВИР в зарубежные страны от 15.05.2015 – регламентируют работу с растительным материалом, привлекаемым для коллекции, и коллекционными образцами. Согласно этим документам, весь поступающий в ВИР семенной и посадочный материал, независимо от того, прислан ли он по почте, привезен ли сотрудниками из командировки или экспедиции, или поступил от других организаций, должен быть передан в отдел интродукции в оригинальной упаковке, без ее вскрытия и со всей сопровождающей документацией. Отдел интродукции передает материал на экспертизу в карантинную лабораторию. Соответственно культуре и тем вредным организмам, которыми она может быть заражена, а также действующим на данный момент нормативным документам карантинной службы принимается решение, какие специалисты и какими методами должны провести экспертизу. В карантинной лаборатории существуют подразделения: энтомологии, гельминтологии, гербологии (сорных растений), фитопатологии, бактериологии и вирусологии. Только после прохождения карантинной экспертизы и получения документа о его фитосанитарном состоянии образец может быть зарегистрирован в интродукционном журнале с присвоением ему интродукционного номера. В случае обнаружения вредителей, способных причинить ущерб образцам, материал отправляется на фумигацию. Если в образцах присутствуют карантинные вредные организмы, которые не могут быть ликвидированы путем фумигации, очистки или другими путями, образец уничтожается согласно акту лаборатории карантина.

Требования карантина основаны на перечне карантинных объектов – видов вредителей, возбудителей заболеваний и сорных растений. Список пересматривается раз в несколько лет, при этом часть видов может быть из него исключена, а часть добавлена. Действующий в настоящее время перечень утвержден решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30 ноября 2016 г. (<https://www.alt.ru/tamdoc/16sr0157/>). В его составе значатся 175 видов карантинных организмов, представляющих опасность как для России, так и для государств – членов ЕАС.

Во время нахождения в здании ВИР карантинная лаборатория всегда работала в тесном контакте с отделом интродукции. Все возникающие вопросы оперативно решались на месте. Сотрудники лаборатории обеспечивали фитосанитарную безопасность поступающих посылок, так как вскрытие их, согласно правилам, происходило в отдельном изолированном помещении. Все без исключения специалисты лаборатории могли посмотреть материал и принять решение о необходимости проведения дополнительных исследований. Карантинная лаборатория имела право выдавать все необходимые документы, вплоть до международного фитосанитарного сертификата.

Перемещение карантинной лаборатории из здания ВИР связано с новыми задачами, вставшими перед карантинной службой России. В связи с возросшим потоком импортных растительных продуктов в фокусе карантинной службы оказались другие интересы. К тому же карантинная лаборатория нуждалась в приведении методик экспертизы в соответствие таковым, принятым международными организациями защиты растений.

В первую очередь это касалось бактериологического и вирусологического анализа. Лаборатории требовались коренным образом реконструированные дополнительные помещения для размещения нового оборудования и проведения экспертизы. К сожалению, не нашлось возможности предоставить такие помещения в стенах ВИР. В результате в 2007 г. лаборатория покинула здание на Большой Морской, 44, в котором она располагалась 75 лет. В настоящее время карантинная лаборатория является частью Ленинградской межобластной ветеринарной лаборатории (Ленинградская МВЛ). Переезд негативно сказался на работе карантина с образцами растительного материала ВИР. Работа по проверке фитосанитарной безопасности бесценного фонда коллекции ВИР перестала быть приоритетной для карантинной службы.

Заключение

Таким образом, 90 лет тесного сотрудничества ВИР с карантинной службой показали чрезвычайную плодотворность и эффективность такого взаимодействия, в то время как ослабление этих связей негативно сказалось как на оперативности и доступности карантинной экспертизы для ВИР, так и на научных интересах сотрудников карантинной лаборатории. По-видимому, единственно правильным путем исправления сложившейся ситуации было бы восстановление сотрудничества в прежнем виде и прежнем объеме. Необходимость обеспечения фитосанитарной безопасности образцов коллекции ВИР не может быть поставлена под сомнение. И работа эта должна проводиться в здании ВИР. Уникальные образцы растительного материала не должны вывозиться за пределы института. Специалист карантинной лаборатории проверяет полностью каждый образец, и он должен иметь возможность планомерного, тщательного проведения экспертизы от начала до конца. Проблема фитосанитарной безопасности коллекционного фонда института должна решаться на самом высшем уровне с тем, чтобы достигнуть и законодательно закрепить взаимодействие ВИР и карантинной службы.

References / Литература

- Bondartseva-Monteverde V.N., Gutner L.S., Novoselova E.D. Parasitic fungi in the greenhouses of the Botanical Institute, USSR Academy of Sciences (Parazitnye griby oranzhery Botanicheskogo instituta Akademii nauk SSSR). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences; 1936. [in Russian] (Бондарцева-Монтеверде В.Н., Гутнер Л.С., Новоселова Е.Д. Паразитные грибы оранжерей Ботанического института Академии наук СССР. Москва; Ленинград: АН СССР; 1936).
- Chernysheva N.B., Valiev M.T. Biographic page about Karl Aleksandrovich Benua (Biograficheskaya stranichka Karla Aleksandrovicha Benua). Karl May School: Society of Friends of the Karl May School "May Bug": [website]. [in Russian] (Чернышева Н.Б., Валиев М.Т. Биографическая страничка Карла Александровича Бенуа. Школа Карла Мая: Общество друзей школы Карла Мая «Майский жук»: [сайт]). URL: http://www.kmay.ru/sample_person.php?n=245 [дата обращения: 22.11.2021].
- Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission dated November 30, 2016 No. 157 "On approval of the Uniform Quarantine Phytosanitary Requirements, imposed on regulated products and regulated objects at the customs border and on the customs territory of the Eurasian Eco-

- omic Union" (Resheniye Soveta Yevraziyskoy ekonomicheskoy komissii ot 30 noyabrya 2016 g. N 157 "Ob utverzhdenii Yedinykh karantinnykh fitosanitarnykh trebovaniy, predyavlyayemykh k podkarantinnoy produktsii i podkarantinnykh obyektam na tamozhennoy granitse i na tamozhennoy territorii Yevraziyskogo ekonomicheskogo soyuza"): [website]. [in Russian] (Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 30 ноября 2016 г. № 157 «Об утверждении Единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза»: [сайт]). URL: <https://www.alta.ru/tamdoc/16sr0157/> [дата обращения: 23.11.2021].
- Drugova E.V., Kapustkin D.V. A pest which risk is not to be underestimated. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2011;(2):31-34. [in Russian] (Другова Е.В., Капусткин Д.В. Вредитель, недооценивать которого нельзя. *Защита и карантин растений*. 2011;(2):31-34).
- Efimov A.L., Kazas I.A., Kradinova M.D., Obolensky V.N., Shcherbinovsky N.S. Plant quarantine in the USSR (Karantin rasteniy v SSSR). A.L. Efimov, N.S. Shcherbinovsky (eds). Moscow: Selkhozgiz; 1937. [in Russian] (Ефимов А.Л., Казас И.А., Крадинова М.Д., Оболенский В.Н., Щербиновский Н.С. Карантин растений в СССР / под ред. А.Л. Ефимова, Н.С. Щербиновского. Москва: Сельхозгиз; 1937).
- Federal State Budgetary Institution – Leningrad Interregional Veterinary Laboratory (Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye "Leningradskaya mezhoblastnaya veterinarnaya laboratoriya"): [website]. [in Russian] (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ленинградская межобластная ветеринарная лаборатория»: [сайт]). URL: <https://vetlab.spb.ru/o-nas/istoricheskaya-spravka> [дата обращения: 21.12.2021]
- Historical reference to Inventory List No. 1 dated May 14, 1962. VIR Archives, Case No. 9 of May 14, 1962 (Istoricheskaya spravka k opisi No. 1 ot 14 maya 1962 goda. Arkhiv VIR. Delo No 9, AR-9); 1963. [in Russian] (Историческая справка к описи № 1 от 14 мая 1962 года. Архив ВИР. Дело № 9, АР-9; 1963).
- Klishina I.S., Drugova E.V. Identification of *Trogoderma* and *Reesa* skin beetle Genera (Coleoptera: Dermestidae), stored produce and seed pests (K opredeleniyu kozheedykh rodov *Trogoderma* i *Reesa* (Coleoptera: Dermestidae), opasnykh vreditel'ey semyan i zapasov). *Plant Health. Research and Practice*. 2017;1(19):36-40. [in Russian] (Клишина И.С. Другова Е.В. К определению кожеедов родов *Trogoderma* и *Reesa* (Coleoptera: Dermestidae), опасных вредителей семян и запасов. *Карантин растений. Наука и практика*. 2017;1(19):30-35).
- Lekhnovich V.S. Wart-resistant potato cultivars (Rakoustoychivye sorta kartofelya). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1954. [in Russian] (Лехнович В.С. Ракоустойчивые сорта картофеля. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1954).
- Loskutov I.G. The history of the world collection of plant genetic resources in Russia (Istoriya mirovoy kollektsii geneticheskikh resursov rasteniy v Rossii). St. Petersburg: VIR; 2009. [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России. Санкт-Петербург: ВИР; 2009).
- Magomedov U.Sh., Mordkovich Ya.B. Plant quarantine: the past and the present. Voronezh: Nauchnaya Kniga; 2012. [in Russian] (Магомедов У.Ш., Мордкович Я.Б. Карантин растений: прошлое и настоящее. Воронеж: Научная книга; 2012).
- Maslov M.I., Magomedov U.Sh., Mordkovich Y.B. Fundamentals of quarantine disinfection (Osnovy karantinnoy obezrazazhivaniya). Voronezh: Nauchnaya kniga; 2007. [in Russian] (Маслов М.И., Магомедов У.Ш., Мордкович Я.Б. Основы карантинного обеззараживания. Воронеж: Научная книга; 2007).
- Mordkovich Y.B., Sokolov E.A. (comp.). Handbook -and identification key of quarantine and other dangerous pests of raw materials, stock products, and seeds (Spravochnik-opredelitel karantinnykh i drugikh opasnykh vreditel'ey syrya, produktov zapasa i posevnogo materiala). V.V. Popovich (ed.). Moscow: Kolos; 1999. [in Russian] (Справочник-определитель карантинных и других опасных вредителей сырья, продуктов запаса и посевного материала / сост. Я.Б. Мордкович, Е.А. Соколов; под ред. В.В. Поповича. Москва: Колос; 1999). URL: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/yamord99.htm> [дата обращения: 24.06.2021].
- Rules for the protection of the territory of the Russian Federation from quarantine pests, plant diseases and weeds (Pravila po okhrane territorii Rossiyskoy Federatsii ot karantinnykh vreditel'ey, bolezney rasteniy i sornyakov). Moscow; 1994. [in Russian] (Правила по охране территории Российской Федерации от карантинных вредителей, болезней растений и сорняков. Москва; 1994).
- Ryerson K.A. A letter to N.I. Vavilov, July 7, 1932, No. 385 (Pismo k N.I. Vavilovu, 7 iyulya 1932 g., No. 385). In: *Nikolai Ivanovich Vavilov : Scientific heritage in letters: (International correspondence)*. Vol. 3. 1931–1933 (Nikolay Ivanovich Vavilov : nauchnoye nasledie v pismakh: [mezhdunarodnaya perepiska]. V 6 t. T. 3. 1931–1933). Moscow: Nauka; 2000. p.292-297. [in Russian] (Райерсон Н.О. Письмо к Н.И. Вавилову, 7 июля 1932 г., № 385. В кн.: *Николай Иванович Вавилов : научное наследие в письмах: (международная переписка)*. В 6 т. Т. 3. 1931–1933. Москва: Наука; 2000. С.292-297).
- Sokolov A.D. (ed.). Twenty-year results of the quarantine expert examination of imported plant materials (1931–1951) (Dvadtsatiletniye itogi karantinnoy ekspertizy importnykh rastitelnykh materialov [1931–1951 gg.]). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1952. [in Russian] (Двадцатилетние итоги карантинной экспертизы импортных растительных материалов (1931–1951 гг.) / под ред. А.Д. Соколова. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1952).
- Spirina T.S. Comparative morphology of male and female genitalia of two forms of cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Sravnitelnaya morfologiya genitaliy samtsa i samki dvukh form chetyrekhpyatnistoy zernovki *Callosobruchus maculatus*). *Entomological Review*. 1974;3(4):752-760. [in Russian] (Спирина Т.С. Сравнительная морфология гениталий самца и самки двух форм четырехпятнистой зерновки *Callosobruchus maculatus*. *Энтомологическое обозрение*. 1974;3(4):752-760).
- Varshalowich A.A. Guidelines for quarantine entomological expert examination of seeds using the X-ray method (Rukovodstvo po karantinnoy entomologicheskoy ekspertize semyan metodom rentgenografii). Moscow: USSR Ministry of Agriculture; 1958. [in Russian] (Варшалович А.А. Руководство по карантинной энтомологической экспертизе семян методом рентгенографии. Москва: Министерства сельского хозяйства СССР; 1958).
- Varshalowich A.A., Shamonin M.G. (eds). Guidelines for the inspection and expert examination of plant and other quarantined materials (Rukovodstvo po dosmotru i ekspertize

- rastitelnykh i drugih podkarantinnykh materialov). Moscow: Kolos; 1972. [in Russian] (Руководство по досмотру и экспертизе растительных и других подкарантинных материалов / под ред. А.А. Варшалоуича, М.Г. Шамонина. Москва: Колос; 1972).
- Varshalowich A.A., Yakovleva N.S. (comp.). Guidelines for luminescence analysis of plant materials during phytopathological quarantine expert examination (Rukovodstvo po lyuminescentnomu analizu rastitelnykh materialov pri fitopatologicheskoy karantinnoy ekspertize). Moscow: Selkhozizdat; 1961. [in Russian] (Руководство по люминесцентному анализу растительных материалов при фитопатологической карантинной экспертизе / сост.: А.А. Варшалоуич, Н.С. Яковлева. Москва: Сельхозиздат; 1961).
- Vavilov N.I. Botanical and geographic fundamentals of breeding (Botaniko-geograficheskiye osnovy selektsii). In: N.I. Vavilov (ed.). *Theoretical Bases of Plant Breeding. Vol. 1. General Principles of Plant Breeding (Teoreticheskiye osnovy selektsii rasteniy. T. 1. Obshchaya selektsiya rasteniy)*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1935. p.15-74. [in Russian] (Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции. В кн.: *Теоретические основы селекции растений. Т. 1. Общая селекция растений* / под ред. Н.И. Вавилова. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1935. С.15-74).
- Voronkova L.V., Zakharenko V.A., Kozicheva E.F., Lebedev V.A., Mordkovich B.Ya., Obolensky V.N., Petropavlovskaya T.P., Primakovskaya M.A., Smetnik A.I., Strelkov Yu.N., Chechet S.M., Shamonin M.G., Shutova N.N. Plant quarantine in the USSR (Karantin rasteniy v SSSR). Moscow: Agropromizdat; 1986. [in Russian] (Воронкова Л.В., Захаренко В.А., Козичева Э.Ф., Лебедев В.А., Мордкович Б.Я., Оболенский В.Н., Петропавловская Т.П., Примаковская М.А., Сметник А.И., Стрелков Ю.Н., Четет С.М., Шамонин М.Г., Шутова Н.Н. Карантин растений в СССР. Москва: Агропромиздат; 1986).
- Zykin A.G. Lekhnovich, Vadim Stepanovich. In: *Nikolai Ivanovich Vavilov's Associates. Plant Genetic Diversity Researchers (Anniversary Edition)*. 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2017. p.305-311. [in Russian] (Зыкин А.Г. Лехнович Вадим Степанович. В кн.: *Соратники Николая Ивановича Вавилова. Исследователи генофонда растений (юбилейное издание)*. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017. С.305-311).

Информация об авторах

Елена Викторовна Другова, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, lenadrugova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9304-7371>

Татьяна Михайловна Озерская, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, ozerskaya24@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5831-506X>

Information about the authors

Elena Viktorovna Drugova, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, lenadrugova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9304-7371>

Tatiana Mikhaylovna Ozerskaya, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, ozerskaya24@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5831-506X>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.02.2022; одобрена после рецензирования 16.09.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 28.02.2022; approved after reviewing on 16.09.2022; accepted for publication on 01.12.2022.

Хронологический указатель трудов Николая Ивановича Вавилова, опубликованных в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции»

В указатель трудов академика Н. И. Вавилова включены работы, опубликованные в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», начиная с первой публикации в 1913 г. до последней в 1938 г. В 1991 г. редакция «Трудов...» посчитала целесообразным переиздание статьи Н. И. Вавилова «У Памира (Дарваз, Рошан, Шугнан): агрономический этюд», ранее опубликованной в издании АН Таджикской ССР (1964)¹, в предисловии которого разъясняется, что этот доклад об экспедиции на Памир в 1916 г. был найден в архивах Н. И. Вавилова и передан для опубликования его сыном Ю. Н. Вавиловым. Решение о переиздании в «Трудах...» было аргументировано тем, что данная публикация была малоизвестна широкому кругу читателей. Статья опубликована в томе 140, посвященном 75-летию первых экспедиций Н. И. Вавилова.

Chronological index of the works by Nikolai I. Vavilov published in the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*

The index of Nikolay Vavilov's works includes publications in the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* from the first one in 1913 to the last in 1938. In 1991, the editors of *Proceedings* considered the expediency of reprinting Vavilov's article *Near the Pamirs (Darvaz, Roshan, Shugnan): an agronomic sketch*, previously published in an issue of the Tajik Academy of Sciences (1964). The preface to this publication explained that the report on the collecting mission to the Pamirs in 1916 was found in Nikolay Vavilov's archives and submitted for publication by his son, Yuri Vavilov. The decision to republish the report in *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* was supported by the fact that this work was little known to a wide community of readers. The article was published in Vol. 140 dedicated to the 75th anniversary of Vavilov's first collecting missions.

1913

1. Гибрид обыкновенной пшеницы (*Triticum vulgare* Vill.) с однозернянкой (*Triticum monococcum* L.) = [Über den Weizenbastard *Triticum vulgare* Vill. ♀ × *Triticum monococcum* L. ♂]: (с селекц. станции при Моск. с.-х. ин-те) / Н. Вавилов // Труды Бюро по прикладной ботанике. 1913. Т. 6, № 1. С. 1–19 : рис. + [1] отд. л. табл.

1917

2. [Замечания по поводу статьи Р. Регеля «К вопросу о происхождении культурных ячменей»] / Н. Вавилов // Труды Бюро по прикладной ботанике. 1917. Т. 10 (1917), № 7/10. С. 609–611, 625–627.

3. О происхождении культурной ржи = [On the origin of the cultivated rye] / Н. Вавилов ; [рис.: П. Веселова ; фот.: Н. Вавилова] // [Там же]. С. 561–590 + [4] отд. л. рис.

1922

4. О происхождении гладкоостных ячменей = [De l'origine d'orge à barbes lisses]: [посвящ. Роберту Эдуардовичу Регелю] / Н. Вавилов // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1922. Т. 12 (1921), вып. 1. С. 53–128 + [2] отд. л. табл.

5. Полевые культуры юго-востока = [Field crops of South-Eastern European Russia] / Н.И. Вавилов. Петроград : Новая деревня, 1922. 228, IV с. : [9] табл., [6] рис., [15] карт. (Прил. 23-е к «Трудам по прикладной ботанике и селекции» ; т. 13).

6. От редакции / Н. Вавилов // Хлеба в России = [Cereals of Russia] / Р. Э. Регель ; под ред. Н. И. Вавилова. Петроград : Военная тип. Штаба Р.К.К.А., 1922. С. 1. (Прил. 22-е к «Трудам по прикладной ботанике и селекции» ; т. 13).

7. Р. Э. Регель, [1867–1920] : [некролог] / Н. Вавилов // [Там же]. С. 3–6.

1923

8. К познанию мягких пшениц : (систематико-географический этюд) = [A contribution to the classification of soft wheats – *Triticum vulgare* Vill. : (essays on systematics and geography of cereals)] : [работа доложена в сокр. виде III-му Всерос. съезду по селекции (Саратов, июнь 1920 г.)] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1923. Т. 13 (1922–1923), вып. 1. С. 149–257.

9. От редакции : [предисловие] / редактор [Н. И. Вавилов] // Пшеница в Канаде = [Wheat in Canada] : (открытие и распространение пшеницы «Маркиз» ; история возделывания пшеницы в Канаде) : [пер.] / Реджинальд Буллер ; пер. под ред. и с предисл. проф. Н. И. Вавилова ; [пер. Е. Н. Вавиловой-Сахаровой]. Петроград : Новая деревня, 1923. С. V–VII. ([Прил. 20-е «Трудам по прикладной ботанике и селекции»]).

1925

10. А. П. Попова (Александра Порфирьевна Попова) : [некролог] / Н. Вавилов // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1925. Т. 14 (1924–1925), вып. 5. С. 314.

11. В. М. Исаев (Виталий Михайлович Исаев) : [некролог] / Н. Вавилов // [Там же]. С. 312–313.

12. Вильям Бэтсон (W. Bateson), 1861–1926 гг. : памяти учителя : [некролог] / Н. Вавилов // [Там же]. 1925 [1926]. Т. 15 (1925), вып. 5. С. 499–511.

¹ Вавилов Н. И. У Памира (Дарваз, Рошан, Шугнан) : агрономический этюд // Земледелие и сельскохозяйственные культуры Горно-Бадахшанской автономной области Таджикской ССР / П. А. Баранов, А. В. Гурский, Л. Ф. Остапович. Душанбе, 1964. Т. 2. С. 10–25. (40-летию Таджикской республики / Академия наук Таджикской ССР. Памирская база).

Vavilov N.I. Near the Pamirs (Darvaz, Roshan, Shugnan): an agronomic sketch (U Pamira (Darvaz, Roshan, Shugnan) : agronomicheskii etyud) // Agriculture and crops of the Gorno-Badakhshan Autonomous Region of the Tajik SSR (Zemledeliye i selskokhozyaystvennyye kultury Gorno-Badakhshanskoy avtonomnoy oblasti Tadzhikskoy SSR) / P. A. Baranov, A. V. Gursky, L. F. Ostapovich. Dushanbe, 1964. Vol. 2. p. 10–25. (40-year anniversary of the Tajik Republic / Tajik Academy of Sciences. Pamir Base).

13. К филогенезу пшениц. Гибридологический анализ вида *Triticum persicum* Vav. и междувидовая гибридизация у пшениц = [A contribution to the phylogenesis of wheat and the inter-species hybridisation in wheats. (A hybridological analysis of the species *Triticum persicum* Vav.)] / Н. И. Вавилов, О. В. Якушкина // [Там же]. 1925. Т. 15 (1925), вып. 1. С. 3–159 + [2] отд. л. рис.

14. Лютер Бэрбенк (Luther Burbank), 1849–1926 гг.: [некролог] / Н. Вавилов; [фот.: Н. И. Вавилова] // [Там же]. 1925 [1926]. Т. 15 (1925), вып. 5. С. 513–520.

15. О междуродовых гибридах дынь, арбузов и тыкв: (к проблеме о захождении видовых и родовых систематических признаков) = [Inter-generic hybrids of melons, watermelons, and squashes: (a contribution to the problem of overlapping of specific and generic characters in systematics)] / Н. И. Вавилов // [Там же]. 1925. Т. 14 (1924–1925), вып. 2. С. 3–35.

16. [От редакции] / Н. Вавилов // [Там же]. 1925 [1926]. Т. 15 (1925), вып. 5. С. 183–184.

17. От редакционного комитета Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур / Н. Вавилов // Очерк современного положения промышленного плодоводства в С. Америке [Северной Америке] = The present state of commercial horticulture in North America / Н. И. Кичунов. Ленинград: Коминтерн, 1925. С. 3. (Прил. 27-е к «Трудам по прикладной ботанике и селекции»).

18. Очередные задачи сельскохозяйственного растениеводства. (Растительные богатства земли и их использование) = [The present problems of plant industry. (The vegetable riches of the earth and their utilization)] : [речь на первом расширенном заседании Совета Ин-та (Москва, Кремль, 20 июля 1925 г.)] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1925. Т. 14 (1924–1925), вып. 5. С. 1–17.

1926

19. Предисловие / Н. Вавилов // Карта земледелия СССР = The agricultural map of USSR / И. Ф. Макаров; под общ. ред. и с предисл. Н. И. Вавилова. Ленинград: ВИПБиНК, 1926. С. 1–4. (Прил. 28-е к «Трудам по прикладной ботанике и селекции»).

20. Центры происхождения культурных растений = [Studies on the origin of cultivated plants] : [посвящ. памяти Альфонса Де-Кандоля, автора «Рациональной ботанической географии» (1855), «Фитографии» (1880), «Происхождение культурных растений» (1882)] / Н. И. Вавилов. Ленинград: Тип. им. Гутенберга, 1926. 248 с. + [1] отд. л. рис., [6] отд. л. карт. (Труды по прикладной ботанике и селекции; т. 16 (1926), вып. 2).

1927

21. Географические закономерности в распределении генов культурных растений = [Geographical regularities in the distribution of the genes of cultivated plants] : (предварительное сообщ.) / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1927. Т. 17 (1927), вып. 3. С. 411–428.

22. Профессор Сергей Иванович Жегалов, (1881–1927) : [[некролог] : памяти друга и учителя] / Н. Вавилов // [Там же]. 1927. Т. 17 (1927), вып. 5. С. I–VIII. Список тр. С. И. Жегалова: с. VI–VIII.

1929

23. Ботанико-географические соображения о возможностях продвижения культуры озимой пшеницы в СССР = [Botanico-geographical considerations as to the possibility of extending the cultivation of winter wheat in USSR] / Н. И. Вавилов // Гибель озимых хлебов и мероприятия по ее предупреждению = The perishing of winter cereals and preventive measures : (1. Труды Всесоюзного совещания по вопросу о гибели озимых хлебов в 1927/28 г. в г. Харькове; 2. Гибель озимых хлебов в различных районах СССР в 1927/28 г. по данным анкеты Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур) / под ред. Н. Н. Кулешова. Ленинград: ВИПБиНК; ГИОА, 1929. С. 265–274. (Прил. 34-е к «Трудам Бюро по прикладной ботанике, генетике и селекции»).

24. Возделываемые растения Хивинского оазиса = [The cultivated plants of the oasis of Khiva (Khoresm)] : (ботанико-агрономический очерк) / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1929. Т. 20. С. 1–91 + [1] отд. л. карт.

25. Гавриил Семенович Зайцев (G. S. Zaitzev), 1887–1929 : памяти друга : (некролог) / Н. И. Вавилов // [Там же]. 1929. Т. 21 (1929), вып. 5. С. III–XVI. Список печатных работ Г. С. Зайцева: с. XV–XVI.

26. Земледельческий Афганистан : составлен по материалам экспедиции Государственного института опытной агрономии и Всесоюзного института прикладной ботаники в Афганистан = [Agricultural Afghanistan : (composed on the basis of the data and materials of the expedition of the Institute of applied botany to Afghanistan)] : [Леониду Николаевичу Старку (полномочный представитель СССР в Афганистане) посвящают этот труд авторы] / Н. И. Вавилов, Д. Д. Букин; [под общ. ред. Н. И. Вавилова]. Ленинград: ВИПБиНК; ГИОА, 1929. [3], 610, XXXII с. + [6] отд. л. карт, [28] отд. л. рис., [1] отд. склад. л. карт. (Прил. 33-е к «Трудам Бюро по прикладной ботанике, генетике и селекции»).

27. [Прения и выступления по докладам] / Б. Н. Лебединский, Н. И. Вавилов, В. В. Колкунов, А. А. Сапегин, А. М. Левшин, В. И. Сазанов, В. Г. Ротмистров, В. Я. Юрьев, Я. М. Савченко, А. А. Бауман, Дружинин, Н. Софотеров, Б. А. Овсянников, А. К. Филипповский // Гибель озимых хлебов и мероприятия по ее предупреждению = The perishing of winter cereals and preventive measures : (1. Труды Всесоюзного совещания по вопросу о гибели озимых хлебов в 1927/28 г. в г. Харькове; 2. Гибель озимых хлебов в различных районах СССР в 1927/28 г. по данным анкеты Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур) / под ред. Н. Н. Кулешова. Ленинград: ВИПБиНК; ГИОА, 1929. С. 361–403. (Прил. 34-е к «Трудам Бюро по прикладной ботанике, генетике и селекции»). [На с. 365–367: выступление Н. И. Вавилова (ВИПБиНК)].

1930

28. Мирон Филиппович Перескоков, дир. Средне-Азиатского отд-ния ВИПБиНК, (1888–1929) : [некролог] / [Н. И. Вавилов; фот. и автобиограф. представлены Л. П. Перескоковой] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1930. Т. 22 (1929–1930), вып. 5. С. I–VIII + [1] отд. л. фот. Список науч. тр. М. Ф. Перескокова: 11 назв.

29. Предисловие / Н. Вавилов // Мукомольные и хлебопекарные особенности сортов пшениц СССР = Milling and baking properties of the wheats varieties in USSR / К. М. Чинго-Чингас; предисл. Н. И. Вавилова; отв. ред. К. А. Фляксберг. Ленинград: ИПБиНК, 1930 [1931]. С. 3–5. (Прил. 46-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).

1931

30. Абиссиния и Эритрея : маршрут экспедиции Н. И. Вавилова в 1926–1927 гг. [Карта] // Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц : (к познанию 28-хромосомной группы культурных пшениц) = The wheats of Abyssinia and their place in the general system of wheats : (a contribution to the knowledge of the 28 chromosomes group of cultivated wheats) / сост.: Н. И. Вавиловым [и др.]; под ред. Н. И. Вавилова; [фот.: Н. И. Вавилова]. Ленинград: ВИР, 1931. С. 4. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).

31. Абиссинские пшеницы в СССР и их хозяйственно-селекционное значение / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 232–233.

32. Ботаническая система 28-ми хромосомных культурных видов пшеницы и дифференциация их на эколого-географические группы / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 211–228. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).

33. Видовой состав пшениц Абиссинии и принципы составления определителей разновидностей / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 23–26.
 34. Дикie родичи плодовых деревьев Азиатской части СССР и Кавказа и проблема происхождения плодовых деревьев : [докл. IX Междунар. конгрессу по садоводству в Лондоне, август 1930 г.] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 26 (1931), вып. 3. С. 85–107.
 35. Культура пшеницы в Абиссинии / сост. Н. И. Вавиловым ; [фот.: Н. И. Вавилова] // Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц : (к познанию 28-хромозомной группы культурных пшениц) = The wheats of Abyssinia and their place in the general system of wheats : (a contribution to the knowledge of the 28 chromosomes group of cultivated wheats) / сост.: Н. И. Вавиловым [и др.] ; под ред. Н. И. Вавилова ; [фот.: Н. И. Вавилова]. Ленинград : ВИР, 1931. С. 7–10. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
 36. Линнеевский вид как система = [The Linnean species as a system] : (докл. V Междунар. ботан. конгрессу в Кембридже, август 1930 г.) / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 26 (1931), вып. 3. С. 109–134.
 37. Литературные данные о пшеницах Абиссинии / сост. Н. И. Вавиловым // Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц : (к познанию 28-хромозомной группы культурных пшениц) = The wheats of Abyssinia and their place in the general system of wheats : (a contribution to the knowledge of the 28 chromosomes group of cultivated wheats) / сост.: Н. И. Вавиловым [и др.] ; под ред. Н. И. Вавилова ; [фот.: Н. И. Вавилова]. Ленинград : ВИР, 1931. С. 13–18. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
 38. Мексика и Центральная Америка, как основной центр происхождения культурных растений Нового Света = [Mexico and Central America as the principal centre of origin of cultivated plants of the New World] : (предварительное сообщ. о результатах экспедиции в Северную Америку в 1930 г.) : [докл. для сессии Академии наук СССР в марте 1931 г.] / Н. И. Вавилов ; [фот.: Н. И. Вавилова, С. М. Букасова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 26 (1931), вып. 3. С. 135–199.
 39. Мукомольные и хлебопекарные особенности пшениц Абиссинии / гл. сост. Н. И. Вавиловым // Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц : (к познанию 28-хромозомной группы культурных пшениц) = The wheats of Abyssinia and their place in the general system of wheats : (a contribution to the knowledge of the 28 chromosomes group of cultivated wheats) / сост.: Н. И. Вавиловым [и др.] ; под ред. Н. И. Вавилова ; [фот.: Н. И. Вавилова]. Ленинград : ВИР, 1931. С. 202–203. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
 40. Наследственная изменчивость 28-хромосомных видов культурных пшениц и сравнение ее с изменчивостью 42-хромосомных видов пшениц / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 203–208.
 41. Несколькo замечаний к проблеме происхождения пшениц / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 228–232.
 42. Остистость и безостость / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 100–103.
 43. Отношение абиссинских пшениц к заболеваниям / сост. Н. И. Вавиловым // [Там же]. С. 157–158.
 44. Памяти К. А. Верховской : [Кира Александровна Верховская, 1899–1930] : (некролог) / Н. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 25 (1930–1931), вып. 5. С. 231–232.
 45. Положение пшениц Абиссинии в системе культурных пшениц / сост. Н. И. Вавиловым // Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц : (к познанию 28-хромозомной группы культурных пшениц) = The wheats of Abyssinia and their place in the general system of wheats : (a contribution to the knowledge of the 28 chromosomes group of cultivated wheats) / сост.: Н. И. Вавиловым [и др.] ; под ред. Н. И. Вавилова ; [фот.: Н. И. Вавилова]. Ленинград : ВИР, 1931. С. 209–211. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
 46. Предисловие / Н. Вавилов (N. I. Vavilov) // [Там же]. С. 3–5.
 47. Проблема растительного каучука в Северной Америке = [The problem of rubber plants in North America / N. I. Vavilov] : (современное состояние использования диких каучуконосных растений и культура их в Северной Америке под углом решения проблемы растительного каучука в СССР) : [сост. на основании личного ознакомления автора с состоянием вопроса о каучуконосах в Сев. Америке в 1930 г., а также как результат критической сводки имеющейся литературы] / Н. И. Вавилов ; [фот.: Н. И. Вавилова, А. Ф. Алексеева, И. Л. Кесельбренера] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 26 (1931), вып. 3. С. 201–267.
 48. Роль Центральной Азии в происхождении культурных растений : (предварительное сообщение о результатах экспедиции в Центральную Азию в 1929 г.) = [The rôle of Central Asia in the origin of cultivated plants : (preliminary communication of the results of the expedition to Central Asia in 1929)] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. [Там же]. С. 3–44 + [2] отд. л. карт.
 49. Химический состав пшениц Абиссинии и Эритреи / сост.: Н. И. Вавиловым, О. К. Фортунатовой // Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц : (к познанию 28-хромозомной группы культурных пшениц) = The wheats of Abyssinia and their place in the general system of wheats : (a contribution to the knowledge of the 28 chromosomes group of cultivated wheats) / сост.: Н. И. Вавиловым [и др.] ; под ред. Н. И. Вавилова ; [фот.: Н. И. Вавилова]. Ленинград : ВИР, 1931. С. 197–201. (Прил. 51-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
- 1932**
50. Генетика на службе социалистического земледелия : [докл. на Всесоюз. конф. по планированию генетико-селекционных исследований на 1933–1937 гг., 25–30 июня 1932 г.] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1932. № 4. С. 19–42.
 51. Нахождение безалкалоидного люпина : введение = [The discovery of an alkaloidless lupin] / Н. И. Вавилов // Проблема безалкалоидного люпина = Problem of alkaloidless lupin / под ред. Н. И. Иванова ; авт.: Н. И. Вавилов [и др.]. Ленинград : Институт растениеводства, 1932. С. 3–4. (Прил. 54-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).
 52. Проблема новых культур = [The problems of new cultures] : [расширенный доклад, сделанный на заседании Федеративного объединения советских писателей и Комитета по внедрению новых культур при «Крестьянской газете» в декабре 1931 г.] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1932. № 1. С. 23–47.
- 1933**
53. Опыт Северной Америки по орошению пшеницы и что можно из него заимствовать : (к проблеме ирригации Заволжья) : [составлено в результате ознакомления автора с работами по орошаемому земледелию в Канаде и Соединенных Штатах во время поездки в Америку в 1932 г. и посещения опытных станций и районов южной Альберты в Канаде, штатов Вашингтона, Монтаны и Колорадо, а также использования материалов Департамента Земледелия в Вашингтоне] / Н. И. Вавилов. Ленинград : ВИР, 1933. 16 с. (Отд. отд. из «Трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции». Сер. А, Социалистическое растениеводство ; № 10). То же. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1934. № 11. С. 5–19. [На титульном листе отдельного оттиска ошибочно указан № 10, по факту опубликовано в № 11 за 1934 г.].
 54. VI Международный генетический конгресс, (г. Итака, США, 24–31 августа 1932 г.) / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1933. № 8. С. 3–18.

1934

55. Опыт Северной Америки по орошению пшеницы и что можно из него заимствовать : (к проблеме ирригации Заволжья) : [сост. в результате ознакомления автора с работами по орошаемому земледелию в Канаде и США во время поездки в Америку в 1932 г. и посещения опытных станций и районов южной Альберты в Канаде, штатов Вашингтона, Монтаны и Колорадо, а также использования материалов Департамента земледелия в Вашингтоне] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1934. № 11. С. 5–19.

56. Основные задачи советской селекции растений и пути их осуществления : [перераб. докл., сделанный на заседании Науч.-техн. совета при Союзсеменоводобъединении (М., 16 янв. 1934 г.)] / Н. И. Вавилов // [Там же]. № 12. С. 5–22.

57. Праздник советского садоводства : (к 60-летию юбилею И. В. Мичурина) / Н. И. Вавилов // [Там же]. Сер. 8, Плодовые и ягодные культуры. 1934. № 2. С. III–VIII.

58. Советское научное растениеводство за период социалистической реконструкции 1930–1933 гг. / Н. И. Вавилов // [Там же]. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1934. № 10. С. 5–23.

1935

59. В. А. Монюшко [Владимир Александрович Монюшко, 1903–1934] : (некролог) / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 11, Новые культуры и вопросы интродукции. 1935. № 2. С. 3–4. Список работ В. А. Монюшко за 1924–1932 гг.: с. 4 (10 назв.).

60. Вступительное слово академика Н. И. Вавилова [на Всесоюзном совещании по селекции и семеноводству кормовых растений, 15–24 января 1935 г.] / Н. И. Вавилов // Селекция и семеноводство кормовых культур : итоги работ Всесоюзного совещания по селекции и семеноводству кормовых растений, 15–24 января 1935 г. при Всесоюзном институте растениеводства : [сб. докл.]. Ленинград ; Москва : ВАСХНИЛ, 1935. С. 3–5. (Прил. 75-е к «Трудам по прикладной ботанике, генетике и селекции»).

61. Памяти И. В. Мичурина [Иван Владимирович Мичурин], [14 окт. 1855 – 7 июня 1935] : [некролог] / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1935. № 15. С. 5–7.

62. Предисловие / Н. И. Вавилов // [Там же]. Сер. 5-А, Пшеница. 1935. № 1 : Библиография мировой литературы по генетике и селекции пшениц / отв. ред. Н. И. Вавилов. С. [1–4].

1936

63. Гуго де Фриз (16 февраля 1848 – 21 мая 1935) / Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1936. № 17. С. 5–15.

1991

64. У Памира (Дарваз, Рошан, Шугнан) : агрономический этюд = [Near the Pamirs (Darvaz, Roshan, Shugnan) : agricultural essay] / Н. И. Вавилов // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 3–12.



ВИР. Помпейский зал. 1-ое Всесоюзное совещание по селекции и семеноводству кормовых культур (январь 1935 г., Ленинград). Архив ВИР

VIR, Pompeii Hall. 1st All-Union Conference on Fodder Crop Breeding and Seed Production (January 1935, Leningrad). VIR Archives

Выборочный указатель статей, опубликованных в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», посвященных жизни, деятельности и научным трудам Н. И. Вавилова

В настоящем списке собраны публикации 1912–2022 гг., опубликованные в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», посвященные жизни, деятельности и научным трудам Николая Ивановича Вавилова, а также работы, отражающие его вклад в развитие современных направлений научно-исследовательских работ. Основное внимание уделено Н. И. Вавилу как исследователю, основателю и руководителю ВИР. Безусловно, составители предоставили лишь часть публикаций, в которых представлена многогранная деятельность выдающегося ученого мирового масштаба. В большинстве своем в список включены работы, опубликованные в юбилейных выпусках, написанные учениками, соратниками, последователями в честь великого русского ученого – Николая Ивановича Вавилова, а также учтены публикации, в которых Николай Иванович выступает в качестве фотографа, научного руководителя, исследователя, предоставившего свои материалы, в том числе экспедиционные, авторам журнала «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции».

Selective index of the publications in the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* dedicated to Nikolay Vavilov's life, activities and scientific works

The present list shows the publications that appeared in the journal *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* from 1912 to 2022. All of them were dedicated to the life, activities and scientific achievements of Nikolay Vavilov as well as to his contribution to the contemporary research trends. The main attention is focused on Vavilov as a researcher, founder and leader of VIR. Of course, the compilers presented only a fraction of the publications describing the versatile activities of this scientist of worldwide renown. Most of the papers were published by his disciples, associates and colleagues in the journal's celebration issues to honor the memory of Nikolay Vavilov as a prominent Russian scientist. Besides, there are publications with Vavilov's photos and other materials submitted by him as the leader and plant explorer of collecting missions to the authors of *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*.

1912. Мальцев А. Текущие сведения о Бюро по прикладной ботанике : (сентябрь – декабрь, 1911 г.) // Труды Бюро по прикладной ботанике. 1912. № 12. С. 605–608. Из содерж.: [На с. 608: упоминание о Н.И. Вавиле: с 15 ноября начал свои занятия в Бюро оставленный при кафедре проф. Прянишникова в Московском сельскохозяйственном институте ученый агроном Н.И. Вавилов, откомандированный в Бюро специально для ботанического ознакомления с формами хлебов].

Фляксберггер К. Формы пшениц и ячменей Якутской области // Труды Бюро по прикладной ботанике. 1912. Т. 5, № 8. С. 261–274. [На с. 268: упоминание о Н.И. Вавиле: образцы № 2581, № 2582, № 2583 получены через Н.И. Вавилова].

1915. Регель Р.Э. Организация и деятельность Бюро по прикладной ботанике за первое двадцатилетие его существования (27 окт. 1894 – 27 окт. 1914) // Труды Бюро по прикладной ботанике. 1915. Т. 8, № 4/5. С. 327–723. [На с. 434, 444, 475 (Н.И. Вавилов состоял в качестве практиканта Бюро (временно) в течение 1911/12 г. – по пшенице, ячменю и овсу), 499 (упоминание о попытке скрещивания однозернянки с мягкой пшеницей: Д. Ларионов. К. Фляксберггер, Н. Вавилов, Н. Литвинов), 510)].

1917. Регель Р. К вопросу о происхождении культурных ячменей / [фот. Н. Вавилова] // Труды Бюро по прикладной ботанике. 1917. Т. 10, № 7/10 (104). С. 591–627 + [2] отд. л. рис. Из содерж.: [Замечания по поводу статьи Р. Регеля «К вопросу о происхождении культурных ячменей»] / Н. Вавилов. С. 609–611, 625–627 ; [Ответ на замечания Н.И. Вавилова по поводу статьи] / Р. Регель. С. 611, 627].

1925. Декапрелевич Л.Л. К выяснению района возделывания персидской пшеницы *Triticum persiciim* Vav. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1925. Т. 15, вып. 1. С. 199–202. [На с. 199: о новом виде пшеницы, описанном Н.И. Вавиловым].

Попова Г. Клещевина и ее культура в Средней Азии / [рис. Н.С. Ясковичева ; фот. Н.И. Вавилова] // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1926. Т. 16, вып. 4. С. 145–240.

1927. Андреев В.Н. Гомологические ряды форм некоторых дубов // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1927. Т. 18, вып. 2. С. 371–453. [На с. 372, 374, 382, 389, 396, 453: упоминание о Н.И. Вавиле].

Дорошенко А. Фотопериодизм некоторых культурных форм в связи с их географическим происхождением / [помощь при подборе материала для опытов: Н.И. Вавилов ; указания: Н.А. Максимова] // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1927. Т. 17, вып. 1. С. 167–220.

1928. Кобелев В.К. Пшеницы Афганистана : (состав и распространение) / [редактор рукописи: Н.И. Вавилов ; руководящие указания от: Н.И. Вавилова, К.А. Фляксберггера ; по собранным материалам и записям экспедиции 1924 г. в Афганистан в составе : Н.И. Вавилова, Д.Д. Букинина, В.Н. Лебедева ; по собранным материалам и записям поездки в Афганистан летом 1927 г.: Д.Д. Букинина ; посев и изучение пшениц Афганистана проводились на полях и в лаборатории. Туркестанской селекционной станции Узбекистана, директор станции Г.С. Зайцев ; при участии: К.А. Верховской, О.К. Фортунатова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1928. Т. 19, вып. 1. С. 3–120.

1928. Синская Е.Н. Масличные и корнеплоды семейства *Cruciferae* / [при участии: А.П. Поповой, М.С. Щенковой, М.А. Веселовской, А.А. Бестужевой, М.К. Герцог-Рубашевской, З.Н. Жеребиной, Е.И. Орешкиной, Е.К. Эмме ; материалы по афганской экспедиции предоставил Н.И. Вавилов ; рис.: М.П. Лобановой, А.Т. Комаровой ; фот.: М.Р. Гедике, С.М. Мартынова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1928. Т. 19, вып. 3. С. 1–648 + [12] отд. л. рис.

1929. Орлов А.А. Ячмени Абиссинии и Эритреи : [работа представляет результат изучения ячменей Абиссинии и Эритреи, собранных экспедицией акад. Н.И. Вавилова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1929. Т. 20. С. 283–345.

Фляксберггер К. Безлигульные карликовые пшеницы из Рошана и пшеницы Памира / [рис.: О. Гусевой, А. Мельникова, М.С. Яковлева] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1929. Т. 20. С. 93–126. Из содерж.: (Сборы Н.И. Вавилова в Шугране и установление безлигульных мягких пшениц. С. 93–94).

1931. Яковлев М.С., Николаенко Е.И. Число сосуловолокнутих пучков в coleoptile пшениц, как систематический признак / [указание к работе: К.А. Фляксбергера, Н.И. Вавилова ; помощь при проращивании образцов: О.И. Котельниковой] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1931. Т. 27, вып. 4. С. 285–321.

1932. Декапрелевич Л.Л., Менабде В.Л. Пленчатые пшеницы Западной Грузии : (*Tr. macha* sp. nova, *Tr. dicoccum* Schrank, *Tr. Timopheevi* Zhuk., *Tr. monosocum* L.) / [фот. А. Дьякова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 5, Зерновые культуры. 1932. № 1. С. 3–46. [На с. 7: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Ковалевский Г. Географическая изменчивость процента остистых колосков у овсов / [при содействии: Н.И. Вавилова, Е.С. Кузнецовой] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 5, Зерновые культуры. 1932. № 1. С. 69–133.

Купцов А.И. Географическая изменчивость вида *Carthamus tinctorius* L. [сафлор] / [основные образцы сафлора, послужившие материалом для работы, были собраны в Абиссинии, Эритрее, Египетском Судане, Египте, Сирии, Палестине, Испании, Афганистане Н.И. Вавиловым и его сотрудниками по экспедиции, в северо-восточной Персии Е.Г. Черняковской, на Памире Н.П. Горбуновым, в советском Закавказьи Н.Н. Кулешовым и Е.А. Столетовой, в Узбекистане В.К. Кобелевым и др. сотр. Средне-Азиатского отд-ния ВИРа, в Малой Азии П.М. Жуковским, в Индии В.В. Марковичем] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 9, Технические культуры. 1932. № 1. С. 99–181.

1935. От авторов : [работа является результатом трехлетних исследований авт. ; исследования проводились в секции анатомии ВИР [секция орг. в начале 1930 г. по инициативе акад. Н.И. Вавилова], в Детском Селе, Ленингр. обл., и на Степном отд-нии ВИР, в Воронежской обл. ; авт. руководствовались исследованиями Вавилова о центрах происхождения культурных растений и работами Говорова по выяснению проблемы происхождения культурного гороха] / [В.Г. Александров, О.Г. Александрова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 3, Физиология, биохимия и анатомия растений. 1935. № 9. С. 5.

Поездка академика Н.И. Вавилова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. А, Социалистическое растениеводство. 1932. № 3. С. 193.

1936. Негруль А.М. Генетические основы селекции винограда : итоги работ за 1929-1935 гг. / [ценные указ., просм. работы: Н.И. Вавилов, М.А. Розанова, Н.В. Ковалев] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 8, Плодовые и ягодные культуры. 1936. № 6. С. 1–149.

1937. Вульф Е.В. Опыт деления земного шара на растительные области на основе количественного распределения видов / [использ. данных по числу видов из работ Н.И. Вавилова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 1, Систематика, экология и география растений. 1937. № 2. С. 315–368 + [1] отд. л. карт.

Иванов Н.Р. Географические закономерности в распределении культурных *Phaseolinae* / [под руководством и с указ. Н.И. Вавилова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 1, Систематика, экология и география растений. 1937. № 2. С. 41–106.

Иммунитет сельскохозяйственных растений к болезням и вредителям / представлено к изд. акад. Н.И. Вавиловым ; отв. ред. Ф.Ф. Сидоров // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Сер. 2, Генетика, селекция и цитология растений. 1937. № 11. С. 1–258, [2] с.

1966. Брежнев Д.Д. Предисловие : [исторический обзор экспедиций ВИР; о содержании научных статей сборника, посвященных характеристике исходного материала и предварительным итогам его исследований] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1966. Т. 38, вып. 2. С. 3–5. [На с. 3: упоминание о Н.И. Вавиллове и его экспедиционной деятельности].

1968. Брежнев Д.Д. Всесоюзный ордена Ленина институт растениеводства имени Н.И. Вавилова к 50-летию Великого Октября // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 1. С. 9–41. [На с. 10–11, 27, 39: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Брежнев Д.Д. Использование мировых растительных ресурсов в селекции сельскохозяйственных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 1. С. 42–64. [На с. 42–44, 46, 49, 50, 59, 60: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Кротов А.С., Лисов В.Н., Соколова И.И. Крупяные культуры // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 1. С. 119–134. [На с. 121–122, 131–132: упоминание о Н.И. Вавиллове].

[Присвоить имя академика Н. И. Вавилова Всесоюзному научно-исследовательскому институту растениеводства Всесоюзной ордена Ленина академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина и впредь именовать его – Всесоюзный научно-исследовательский институт растениеводства имени Н. И. Вавилова : [из постановления Совета Министров РСФСР от 27 марта 1967 г.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 1. С. 4.

Разумов В.И., Лимарь Р.С., Олейникова Т.В., Углов П.Г., Удовенко Г.В., Панченко Н.П., Быков О.В. Итоги исследований по физиологии растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 2. С. 70–101. [На с. 70, 72–74, 76, 78, 98: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Синская Е.И. Исторический обзор работ ВИР по систематике // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 2. С. 3–38. [На с. 8, 10–14, 16–19, 21, 31, 32, 38: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Ширко В.Н., Ригина С.И., Щелко Л.Г., Голубев А.А., Никитина К.В., Хохлаева Т.М., Герасенкова Е.Д., Толмачева Е.А. Изучение иммунитета к главным болезням и вредителям сельскохозяйственных рас // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1968. Т. 39, вып. 2. С. 146–195. [На с. 146–152, 155–160, 163, 170, 175, 184, 189: упоминание о Н.И. Вавиллове].

1969. Брежнев Д.Д. Всесоюзному ордена Ленина научно-исследовательскому институту растениеводства имени Н. И. Вавилова – 75 лет // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 5–30. [На с. 5, 7–9, 19, 27, 28: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Брежнев Д.Д. Состояние и задачи дальнейшего усиления работы по мобилизации и изучению растительных ресурсов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 31–43. [На с. 32: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Брежнев Д.Д., Боос Г.В. Значение мировой коллекции овощных культур в создании научных основ советского овощеводства // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 235–263. [На с. 238, 240, 242: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Будин К.З., Зарубайло Т.Я. Исследования по генетике растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 296–303. [На с. 296: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Букасов С.М. К познанию генофонда картофеля // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 221–234. [На с. 221: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Венцлавович Ф.С., Арзуманова А.А., Анащенко А.В., Богатова М.Г., Кузнецова Р.Я., Стам Я.М. Растительные ресурсы масличных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 173–185. [На с. 180: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Иванов Н.Р., Макашева Р.Х., Мирошниченко И.И. Мировые растительные ресурсы зерновых бобовых культур / [в подготовке материала принимали участие: О.П. Адамова, В.И. Буданова, Р.Б. Демина, Н.И. Корсаков, Л.В. Леокене, З.А. Лузина, А.М. Павлова, С.И. Степанова] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 136–159. [На с. 142–144: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Кобылянский В.Д. Исследования по ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 66–77. [На с. 67, 72: упоминание о Н.И. Вавиллове].

Кривченко В.И. Иммунитет сельскохозяйственных растений к болезням и вредителям // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 364–378. [На с. 364–368, 370, 375: упоминание о Н.И. Вавиллове].

- Кротов А.С., Лысов В.Н., Якушевский Е.С., Соколова И.И. Крупяные культуры и сорго // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 113–135. [На с. 115, 124–126, 128–129, 133: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Лихонос Ф.Д., Павлова Н.М. Плодовые и ягодные культуры // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 264–284. [На с. 269: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Лубенец П.А., Хорошайлов Н.Г., Шебакина М.А., Шутова З.П. Исходный материал для селекции многолетних трав // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 186–220. [На с. 188, 191, 204: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Мордкин А.И. Сортовые ресурсы овса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 87–93. [На с. 87, 88, 90: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Разумов В.И., Удовенко Г.В., Быков О.Д. Итоги исследования по физиологии растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 315–325. [На с. 323: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Романов И.Д. Исследования по цитологии // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 304–314. [На с. 304: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Сизов И.А., Тер-Аванесян Д.В., Давидян Г.Г., Рыкова Р.П. Итоги работы по прядильным культурам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 160–172. [На с. 166, 167, 170: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Трофимовская А.Я. Итоги и перспективы исследований мировой коллекции ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 78–86. [На с. 79–83: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Хорошайлов Н.Г. Исследования по семеноведению // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 379–384. [На с. 379, 380: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Шмараев Г.Е. Сортовое разнообразие кукурузы и использование его в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 94–112. [На с. 96: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Якубинер М.М., Дорофеев В.Ф. Мировые ресурсы пшениц на службе советской селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1969. Т. 41, вып. 1. С. 44–65. [На с. 44–63: упоминание о Н.И. Вавилове].
1971. Леокене Л.В. Изменчивость вегетационного периода посевной вики // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1971. Т. 45, вып. 3. С. 72–87. [На с. 72, 86: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Макашева Р.Х. К истории зимующих форм гороха посевного (*Pisum sativum* L. sensu *amplissimo* Govorov) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1971. Т. 45, вып. 3. С. 16–26. [На с. 16, 19: упоминание о Н.И. Вавилове].
1973. Брежнев Д.Д. Полвека труда, полвека исканий : [история, достижения и перспективы ВИР : к 50-летию образования СССР] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 3–27. [На с. 5–7, 10, 24: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Брежнев Д.Д., Якубинер М.М. Н. И. Вавилов и растениеводство союзных республик : (к 85-летию со дня рождения ученого) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 28–35.
- Будин К.З., Кобылянская К.А., Чикова В.А. Генетические источники селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 36–45. [На с. 36, 38, 43: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Букасов С.М. Некоторые итоги изучения мировой коллекции картофеля // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 152–159. [На с. 153: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Давидян Г.Г., Анащенко А.В., Лемешев Н.К., Кузнецова Р.Я., Рыкова Р.П., Стам Я.М. Растительные ресурсы прядильных и масличных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 176–189. [На с. 177, 181: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Зарубайло Т.Я., Ригин Б.В., Скурыгина Н.А., Таврин Э.В. Проблема отдаленной гибридизации пшеницы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 59–71. [На с. 63, 65: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Камераз А.Я. Селекция картофеля на основе межвидовой гибридизации // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 168–175. [На с. 168: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Кривченко В.И. Иммунологическое разнообразие мировой коллекции ВИР и методы его изучения // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 234–244. [На с. 234, 235: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Никитин В.В., Бондаренко О.Н. Дикие сородичи культурных растений, их охрана и роль в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 280–290. [На с. 280, 281, 283, 290: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Опытные станции – сельскому хозяйству страны // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1973. Т. 49, вып. 3. С. 291–311. [На с. 291, 300, 310: упоминание о Н.И. Вавилове].
1975. Брежнев Д.Д. Флагман советского растениеводства : [исторический обзор деятельности: к 50-летию юбилею ВИР] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 3–25 + [2] отд. л. портр., карт., схем. [На с. 5, 6, 8: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Брежнев Д.Д. Широкая программа исследований // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 54, вып. 1. С. 7–26. [На с. 7, 13, 22, 23, 25: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Будин К.З. Новейшие итоги интродукции основных сельскохозяйственных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 26–33. [На с. 26: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Говорукина В.А. Туркменская опытная станция ВИР (1927–1941 гг.) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 54, вып. 1. С. 275–286. [На с. 276: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Давидян Г.Г., Анащенко А.В., Лемешев Н.К., Кузнецова Р.Я., Рыкова Р.П. Растительные ресурсы прядильных и масличных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 81–91. [На с. 81, 84, 86, 90: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Дорофеев В.Ф., Кузнецов В.Г., Мажоров Е.В. Первый международный симпозиум по генетическим ресурсам пшеницы [(14–22 июля 1975 г., Ленинград, ВИР)] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 219–224. [На с. 219, 221: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А. Мировой генофонд пшеницы как исходный материал для селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 34–41. [На с. 39: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Ерохин В.Д., Мажоров Е.В. Орден Дружбы народов – на знамени ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 55, вып. 2. С. 236–240. [На с. 236–240: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Жуковский П.М. Современное состояние и развитие основных идей Н. И. Вавилова : [доклад, прочитанный на Первом ежегодном Вавиловском чтении 18 ноября 1974 г.] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 54, вып. 1. С. 229–238.
- Зарубайло Т.Я. Г. Д. Карпеченко и межвидовая гибридизация растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 54, вып. 1. С. 262–267. [На с. 262: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Корсаков Н.И. Итоги работы с зерновыми бобовыми культурами // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 62–70. [На с. 62, 63: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Куперман Ф.М., Дикий С.П., Тер-Мануэльянц З.И. О некоторых закономерностях изменчивости плодов и семян баклажана // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 55, вып. 2. С. 179–184. [На с. 179, 184: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Лехнович В.С. Мировая коллекция ВИР и картофелеводство // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 54, вып. 1. С. 255–261. [На с. 255, 258: упоминание о Н.И. Вавилове].

- Нестеров Я.С., Витковский В.Л., Володина Е.В. Использование мировой коллекции для интенсивного садоводства // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 111–120. [На с. 112: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Никитин В.В., Ульянова Т.Н. История гербария ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 121–124. [На с. 121, 122: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Сазонова Л.В. Мировое разнообразие овощных и бахчевых культур : (сбор, изучение и использование в селекции) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 92–102. [На с. 92: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Трофимовская А.А., Кобылянский В.Д. Итоги и перспективы изучения мирового генофонда ржи, ячменя и овса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 56, вып. 1. С. 42–53. [На с. 42, 43, 50, 51, 53: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Цицин Н.В., Вавилов П.П., Алпатьев А.В. Путь ученого : (к 70-летию академика ВАСХНИЛ Д. Д. Брежнева) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 55, вып. 2. С. 3–17. [На с. 3, 5, 7–12, 14: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Шепелев Л.Е., Егоров В.С. Заслуженный деятель науки РСФСР Владимир Иванович Ковалевский [1848–1934] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1975. Т. 54, вып. 1. С. 268–274. [На с. 272, 273: о сотрудничестве В.И. Ковалевского и Н.И. Вавилова].
- 1976.** Иванов Н.Р. Выдающийся исследователь, селекционер и педагог Л. И. Говоров : (к 90-летию со дня рождения) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1976. Т. 57, вып. 3. С. 147–151. [На с. 148: упоминание о Н.И. Вавилове].
- 1977.** Академик Николай Иванович Вавилов [1887–1943] : (к 90-летию со дня рождения) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1977. Т. 60, вып. 1. С. 21–27.
- 1980.** Мещеров Э.Т. Осуществление идей Н. И. Вавилова в работе ВИР по интродукции растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1980. Т. 68, вып. 3. С. 139–144.
- Коровина О.Н. Н. И. Вавилов и его последователи о генцентрах происхождения культурных растений и их дикорастущих сородичей // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1983. Т. 79. С. 73–88.
- 1987.** Агаев М.Г. Популяционная изменчивость культурных растений и ее селекционное значение // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 248–260. [На с. 248–251, 259: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Барашкова Э.А. Роль Н. И. Вавилова в изучении проблемы морозостойкости растений // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 222–233.
- Бахарева С.Н., Кобылянская К.А., Горбатенко Л.Е. Воплощение идей Н. И. Вавилова в работе ВИР по интродукции растений // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 30–39.
- Боос Г.В. Актуальные аспекты селекции овощных и бахчевых культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 114–120. [На с. 114: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Будин К.З. Генетический потенциал секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. и его значение для селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 104–113. [На с. 104–106, 108, 113: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Будин К.З. Мировой генофонд растений и его использование в селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 3–8. [На с. 3, 4, 7, 8: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Буренин В.И., Иванов А.И. Мобилизация кормовых растительных ресурсов в свете идей Н. И. Вавилова // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 88–96.
- Быков О.Д., Зеленский М.И. Экологическая и видовая дифференциация пшеницы по уровню фотосинтетической активности // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 186–203. [На с. 186, 199: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Витковский В.Л., Нестеров Я.С. Итоги изучения и перспективы использования коллекции многолетних плодовых культур в производстве и селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 120–129. [На с. 120, 121, 128, 129: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Удачин Р.А. Н. И. Вавилов и современная тритикология // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 9–20.
- Ермаков А.И., Ярош Н.П. Генотипическая изменчивость качества масла семян различных культурных растений и дикорастущих сородичей и ее значение для селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 172–185. [На с. 172, 179, 184: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Зыкин А.Г. Развитие семеноводства на опытных станциях ВИР в свете идей Н. И. Вавилова // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 269–274. [На с. 269, 270, 273, 274: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Кобылянский В.Д., Лукьянова М.В., Родионова Н.А. Теоретическое и практическое значение коллекции ржи и зернофуражных культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 40–52. [На с. 40, 41, 43, 44, 47, 48, 51, 52: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Комаров В.И. Совершенствование, разработка методов и приборов для оценки качества образцов сельскохозяйственных культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 233–248. [На с. 233, 246: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Конарев В.Г. Н. И. Вавилов и современные подходы к изучению генофонда сельскохозяйственных растений // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 129–140. [На с. 129–131, 133–136, 139, 140: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Кривченко В.И. Законы Н. И. Вавилова о естественном иммунитете растений к болезням и проблемы селекции на устойчивость // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 20–30.
- Кривченко В.И., Буренин В.И., Корнеев В.А. Классификация Н. И. Вавилова сельскохозяйственных растений по засухоустойчивости в свете современных задач селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 215–222.
- Лемешев Н.К., Анащенко А.В., Кутузова С.Н. Значение теории центров происхождения и мирового генофонда для селекции технических культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 96–104. [На с. 96–99, 101–104: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Ляховкин А.Г. Происхождение и эволюция риса посевного (*Oryza sativa* L.) // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 63–74. [На с. 63–66, 70, 72: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Орел Л.И., Орлова И.Н., Абрамова Л.И., Москалева Г.И. Роль структурно-ботанических исследований в оценке исходного материала // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 150–172. [На с. 150, 152, 154, 168, 171, 172: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Ригин Б.В. Проблема интрогрессии генов морозостойкости ржи в геном мягкой пшеницы // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 140–150. [На с. 141, 148, 150: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Удовенко Г.В. Роль Н. И. Вавилова в исследованиях по физиологии устойчивости растений в ВИРе // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 203–215.
- Чекалин Н.М., Щелко Л.Г. Генофонд зерновых бобовых культур на службе селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 74–88. [На с. 74–76, 80, 87: упоминание о Н.И. Вавилове].

- Шмараев Г.Е. Учение Н. И. Вавилова об исходном материале и современные направления селекции кукурузы // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 53–63.
1988. Мизгирева О.Ф. Гибридизация между видами рода *Amygdalus* L. и происхождение миндаля Вавилова (*A. vavilovii* M. Pop.) // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1988. Т. 119. С. 90–97.
- Пономаренко В.В. Генетические центры видовой разнообразия рода *Malus* Mill. : [по материалам выступления авт. на V съезде ВОГиС им. Н. И. Вавилова : к 100-летию Н. И. Вавилова (Москва, 24–28 ноября 1987 г.)] // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1988. Т. 119. С. 11–21. [На с. 11, 20: упоминание о Н.И. Вавилове].
1989. Будин К.З. Н. И. Вавилов – создатель теории интродукции и мировой коллекции растений // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1989. Т. 126. С. 12–19.
- Еремин Г.В. Идеи Н. И. Вавилова и селекция плодовых растений // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1989. Т. 123. С. 3–8.
1990. Ригин Б.В. Г. Д. Карпеченко и развитие генетики во Всесоюзном институте растениеводства // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1990. Т. 128. С. 97–103. [На с. 97, 98, 101, 102: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Смирнов В.Г. Анализ генетической природы параллелизма в наследственной изменчивости : закон Н. И. Вавилова и современная генетика // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1990. Т. 135. С. 135–143.
1991. Базилевская Н.А., Бахарева С.Н. Экспедиции Н. И. Вавилова и их значение // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 12–23.
- Будин К.З. Роль Н. И. Вавилова в создании коллекций видов картофеля и их использование в селекции // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 36–41. [На с. 36–38, 40: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Буренин В.И. Изучение и использование геноресурсов свеклы в свете идей Н. И. Вавилова // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 138. С. 42–48.
- Буренин В.И., Пыженков В.И., Фурса Т.Б. Растительные ресурсы Средней Азии для селекции овощных и бахчевых культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 89–97. [На с. 89, 92, 96: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Вахрушева Т.Е., Евдокимова О.А., Елдашев Ч.Е. Перспективы возделывания гваюлы серебристой в Туркмении // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 137–143. [На с. 137, 143: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Витковский В.Л., Денисов В.П. Н. И. Вавилов и экспедиционное обследование плодовых растений и винограда Средней Азии // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 97–111.
- Горбатенко Л.Е. Осуществление идей Н. И. Вавилова в области интродукции картофеля // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 41–47.
- Конарев В.Г. Генетические ресурсы селекции, современная стратегия их изучения и использования // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 23–36. [На с. 23, 24, 29, 33, 34: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Курлович Б.С., Волузнева Т.А., Петрова М.В. Значение вавиловских экспедиций для селекции зерновых бобовых культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 84–89. [На с. 84–89: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Левин Г.М. Исследование генофонда граната – *Punica* L. // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 111–118. [На с. 111, 112, 117: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Лукиянова М.В. Н. И. Вавилов и развитие селекции ячменя в Средней Азии // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 77–84.
- Сосков Ю.Д. Новые пустынные кормовые культуры Средней Азии и Казахстана // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 123–131. [На с. 123, 124, 127, 128, 130: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Удачин Р.А. Н. И. Вавилов и познание пшениц Средней Азии // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 47–57.
- Удачин Р.А., Шмараев И.Г. Основные итоги работы постоянно действующей Среднеазиатской экспедиции ВИР (1965–1990 гг.) // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 58–67. [На с. 58, 59, 63: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Ульянова Т.Н. Сорные растения как особая экологическая группа дикорастущих видов // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 131–136. [На с. 131–136: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Шмараев Г.Е. Интродукция и основные направления селекции кукурузы и крупяных культур // Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1991. Т. 140. С. 67–77. [На с. 67, 70, 73, 75, 76, 78: упоминание о Н.И. Вавилове].
1999. Картамышев В.Г. Развитие идей Н. И. Вавилова в селекции масличных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1999. Т. 156. С. 105–111.
2003. Малыченко В.В. Итоги экспедиционной работы Волгоградской опытной станции ВИР по сбору мировых растительных ресурсов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2003. Т. 160. С. 9–15. [На с. 9–11, 13, 15: упоминание о Н.И. Вавилове].
2006. Сури́н Н.А. К 100-летию А. Я. Трофимовской // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2006. Т. 162. С. 7–12. [На с. 7: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Терентьева И.А. Александра Яковлевна Трофимовская // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2006. Т. 162. С. 4–7. [На с. 4, 5: упоминание о Н.И. Вавилове].
2007. Алексанян С.М. Стратегия взаимодействия генбанков мира в условиях глобализации // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 11–33. [На с. 15, 30, 33: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Альдеров А.А. Вклад Дагестанской опытной станции ВИР в изучение генетических ресурсов растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 234–243. [На с. 234–238, 240, 241, 243: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Буренин В.И., Артемьева А.М., Храпалова И.А., Пискунова Т.М., Шашилова Л.И. Закономерности наследственной изменчивости овощных и бахчевых культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 164–179. [На с. 164, 165, 174, 177: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Бурмистров Л.А. Генетические ресурсы плодовых культур и их использование в селекции в свете развития учения Н. И. Вавилова: итоги и перспективы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 194–207. [На с. 194, 195, 206: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Васильева Е.М. К 80-летию Полярной опытной станции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 163. С. 163–167. [На с. 163: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Вишнякова М.А. Роль генофонда зернобобовых культур в решении актуальных задач селекции, растениеводства и повышения качества жизни // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 101–118. [На с. 102, 116: упоминание о Н.И. Вавилове].
- Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Трускинов Э.В., Антонова О.Ю., Пендин Г.И., Лупышева Ю.В., Роговая В.В., Швачко Н.А. Стратегия долгосрочного сохранения генофонда вегетативно размножаемых сельскохозяйственных растений в контролируемых условиях среды // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 273–285. [На с. 274: упоминание о Н.И. Вавилове].

Гаврилова В.А., Брач Н.Б., Подольная Л.П., Дубовская А.Г., Кутузова С.Н., Григорьев С.В., Конькова Н.Г., Павлов А.В., Пороховинова Е.А. Итоги изучения и новые направления использования генофонда масличных и прядильных культур в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 119–141. [На с. 119, 120, 132, 140: упоминание о Н.И. Вавилове].

Гаевская Е.И. Вместо предисловия : [о номере, посвященном 120-летию со дня рождения Н. И. Вавилова, и результатах изучения генетических ресурсов растений на современном этапе] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 4–10. [На с. 4, 5, 8: упоминание о Н.И. Вавилове].

Горбатенко Л.Е. Н. И. Вавилов – основоположник теории интродукции растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 34–49.

Горбатенко Л.Е., Киру С.Д. История создания генофонда картофеля ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 163. С. 22–38. [На с. 26–28, 35: упоминание о Н.И. Вавилове].

Дзюбенко Н.И., Виноградов З.С. Коллекция ВИР – на службе селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 393–396. [На с. 393, 395, 396: упоминание о Н.И. Вавилове].

Дзюбенко Н.И., Чапурин В.Ф., Бухтеева А.В., Сосков Ю.Д. Мобилизация и изучение многолетних кормовых культур в свете идей Н. И. Вавилова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 153–163.

Дорожкин Б.Н., Дергачева Н.В. ВИР и селекция картофеля в Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 163. С. 167–179. [На с. 167, 176, 178: упоминание о Н.И. Вавилове].

Еремич Г.В. Генофонд рода *Prunus* L. и его использование в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 208–217. [На с. 208, 217: упоминание о Н.И. Вавилове].

Киру С.Д. Мировой коллекция картофеля ВИР – 80 лет // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 163. С. 5–21. [На с. 5, 10, 13, 17, 20: упоминание о Н.И. Вавилове].

Киру С.Д., Костина Л.И., Рогозина Е.В. Мировой генофонд картофеля – источник исходного материала для селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 180–193. [На с. 180, 186: упоминание о Н.И. Вавилове].

Колядко И.И., Незаконова Л.В., Маханько В.Л. Использование образцов коллекции Всероссийского института растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР) в селекции картофеля в Беларуси // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 163. С. 186–192. [На с. 186: упоминание о Н.И. Вавилове].

Косарева И.А., Кошкин В.А. Развитие физиологических исследований в ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 350–360. [На с. 350, 352, 355, 356, 358: упоминание о Н.И. Вавилове].

Лоскутов И.Г., Кобылянский В.Д., Ковалева О.Н. Итоги и перспективы исследований мировой коллекции овса, ржи и ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 80–100. [На с. 81, 88: упоминание о Н.И. Вавилове].

Митрофанова О.П. Коллекция пшеницы ВИР: сохранение, изучение, использование // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 63–79. [На с. 64, 70, 73, 77: упоминание о Н.И. Вавилове].

Радченко Е.Е. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к вредным организмам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 316–327. [На с. 316, 317: упоминание о Н.И. Вавилове; На с. 321–325: Учение об иммунитете растений Н.И. Вавилова].

Ригин Б.В. Основные направления исследований в отделе генетики ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 286–302. [На с. 286–291, 293, 295–298: упоминание о Н.И. Вавилове].

Романова О.И., Курцева А.Ф., Матвеева Г.В., Малиновский Б.Н. Генофонд проса, гречихи, сорго и кукурузы в развитии биологической науки и селекции на крупяные качества // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 142–152. [На с. 144–146, 148, 150–152: упоминание о Н.И. Вавилове].

Сазонова Л.В. Расширение ареала и повышение урожайности зерновых культур в России в XX веке на основе развития отечественной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 379–392. [На с. 379, 381, 392: упоминание о Н.И. Вавилове].

Смекалова Т.Н. Систематика культурных растений в связи с проблемами сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 50–62. [На с. 50–55, 58–59, 61: упоминание о Н.И. Вавилове].

Смекалова Т.Н., Чухина И.Г., Смирнова А.Б., Крылова Е.А., Гавриленко Т.А. Аутентичные гербарные образцы культурных и близкородственных диких видов картофеля (серии *tuberosa* (Rydb.) Hawkes), хранящиеся в гербарии ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 163. С. 38–43. [На с. 39, 42: упоминание о Н.И. Вавилове].

Теханович Г.А. Изучение и селекционное использование растительных ресурсов на Кубанской опытной станции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 244–252. [На с. 244–246, 252: упоминание о Н.И. Вавилове].

Туз А.С., Бандурко И.А. Диагностические признаки видов рода *Pyrus* L. – груша // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 218–224. [На с. 218, 224: упоминание о Н.И. Вавилове].

Филипенко Г.И. Развитие системы низкотемпературного хранения и криоконсервации генофонда растений в ВИР имени Н. И. Вавилова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 263–272. [На с. 264: упоминание о Н.И. Вавилове].

Чесноков Ю.В. Парадигмы оценки и использования генетических ресурсов, сохраняемых в генных банках растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2007. Т. 164. С. 303–315. [На с. 303–305, 308, 313, 314: упоминание о Н.И. Вавилове].

2009. Афанасенко О.С. Роль А. Я. Трофимовской в развитии исследований по иммунологической характеристике ячменя из генетических центров эволюции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 165. С. 8–12. [На с. 8, 9, 12: упоминание о Н.И. Вавилове].

Булынец С.В., Гуркина М.В., Некрасов А.Ю. Мировые генетические ресурсы нута для использования в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 15–19. [На с. 16: упоминание о Н.И. Вавилове].

Мамадалиева М.А., Бобоев Т.Б., Каримов Р.К., Азизова С.Д., Каюмова Н.И. Сохранение разнообразия культурных растений и традиционных знаний по биоресурсам горных районов Таджикистана – основа предотвращения генетической эрозии // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 410–414. [На с. 411, 412: упоминание о Н.И. Вавилове].

Попова И.С. Феноменология псевдосовместимости у яровой диплоидной ржи из коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 457–463. [На с. 461: упоминание о Н.И. Вавилове].

Седловский А.И., Тюпина Л.Н., Хайленко Н.А. Использование диких родичей для разработки нетрадиционных методов селекции пшеницы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 232–238. [На с. 233: упоминание о законе гомологических рядов Н.И. Вавилова].

Сурин Н.А., Зобова Н.В., Ляхова Н.Е. Генетические ресурсы ярового ячменя сибирской селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 263–269. [На с. 264, 268: упоминание о Н.И. Вавилове].

Теханович Г.А., Елацков Ю.А., Елацкова А.Г. Параллельная изменчивость у бахчевых культур и ее практическое значение в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 270–273. [На с. 270: упоминание о законе гомологических рядов Н.И. Вавилова].

Цыганкова М.Ю., Цыганков И.Г., Цыганков В.И. Создание экологически устойчивых сортов проса для сухостепной зоны Казахстана на основе генетического потенциала мировой коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 593–601. [На с. 594: упоминание о Н.И. Вавилове].

Шевцов В.М. Идеи ВИР по использованию исходного материала в селекции ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 165. С. 54–56. [На с. 54, 55: упоминание о Н.И. Вавилове].

Mikić A., Mihailović V., Chupina B., Vishnyakova M., Vasić M., Đorđević V., Perić V. forage and grain yields in the VIR accessions of Narbonne vetch *Vicia narbonensis* in the conditions of Serbia // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2009. Т. 166. С. 185–188.

2012. Артемьева А.М., Чесноков Ю.В. Эколого-географическое изучение коллекции капусты: от Н. И. Вавилова до наших дней // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 128–136.

Баташева Б.А., Абдуллаев К.М. Развитие исследований генетических ресурсов растений на Дагестанской опытной станции ВИР в свете идей Н. И. Вавилова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 295–299. [На с. 295, 296: упоминание о Н.И. Вавилове].

Буравцева Т.В., Егорова Г.П. 100 лет коллекции фасоли ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 112–119. [На с. 112–116, 119: упоминание о Н.И. Вавилове].

Буренин В.И., Пискунова Т.М. Развитие идей Н. И. Вавилова в изучении и использовании геноресурсов овощных и бахчевых культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 120–127.

Гаврилова В.А., Брач Н.Б., Кутузова С.Н., Пороховинова Е.А., Дубовская А.Г., Подольная Л.П., Рожкова В.Т., Вишневская М.С., Анисимова И.Н. Генетические коллекции масличных и прядильных культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 147–160. [На с. 147, 148: упоминание о Н.И. Вавилове].

Дзюбенко Н.И. Вавиловская стратегия пополнения, сохранения и рационального использования генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 4–40.

Дзюбенко Н.И., Дзюбенко Е.А. Вавилов и его сподвижники в становлении работы с кормовыми культурами в ВИРе : (к 100-летию работы с кормовыми культурами в ВИРе) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 161–179.

Кобылянский В.Д., Солoduхина О.В. Развитие идей Н. И. Вавилова в современных исследованиях рода *Secale* L. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 53–64.

Пономаренко В.В., Пономаренко К.В. Идеи Н. И. Вавилова в современных исследованиях рода *Malus* Mill. – яблоня // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 225–229. [На с. 225–227: упоминание о Н.И. Вавилове].

Смекалова Т.Н., Багмет Л.В., Чухина И.Г. Гербарий ВИР им. Н. И. Вавилова (WIR) и его роль в решении проблем мобилизации, сохранения и изучения генетических ресурсов растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 180–192. [На с. 181, 182, 185, 188–190: упоминание о Н.И. Вавилове].

Соловьева А.Е., Артемьева А.М. Биохимические исследования коллекции капусты: итоги и перспективы // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 137–146. [На с. 137, 138: упоминание о Н.И. Вавилове].

Теханович Г.А., Елацкова А.Г., Елацков Ю.А. Роль мировой коллекции бахчевых культур ВИР в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2012. Т. 169. С. 289–294. [На с. 289, 290: упоминание о Н.И. Вавилове].

2013. Буренин В.И., Пискунова Т.М. Развитие идей Н. И. Вавилова в изучении и использовании геноресурсов овощных и бахчевых культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 174. С. 53–60.

Иваницкий К.И., Бучинский А.Ф., Сарычев Ю.Ф. Особенности формообразовательного процесса культуры табака // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 173. С. 19–31. [На с. 20, 23, 28: упоминание о Н.И. Вавилове].

Кузнецова Т.Е., Серкин Н.В., Левштанов С.А., Веретельникова Н.А. Комбинаторная селекция озимого ячменя в Краснодарском НИИСХ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 171. С. 208–213. [На с. 208: упоминание о Н.И. Вавилове].

Левитин М.М. Проблемы фитопатологии в научной деятельности Н. И. Вавилова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 173. С. 3–12.

Смекалова Т.Н., Озерская Т.М., Дзюбенко Н.И. Мобилизация генетических ресурсов растений – приоритетная задача ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 172. С. 3–16. Из содерж.: (Основные сведения об экспедиционной деятельности ВИР и участия в ней Н. И. Вавилова. С. 5–9). [На с. 4–10, 15: упоминание о Н.И. Вавилове].

Трускинов Э.В. Вопросы интродукционной политики Н. И. Вавилова в связи с политизированной критикой его противников // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. Т. 173. С. 13–18.

2014. Вишнякова М.А., Александрова Т.Г., Булынец С.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Егорова Г.П., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Яньков И.И. Генетические ресурсы зернобобовых из «горячих точек» мирового биоразнообразия в коллекции ВИР. Средиземноморье : (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2014. Т. 175, вып. 3. С. 5–33. [На с. 6–10, 20, 23, 27, 30: упоминание о Н.И. Вавилове].

Лоскутов И.Г. По следам вавиловских экспедиций. Сардиния. Италия // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2014. Т. 175, вып. 1. С. 97–102.

Трускинов Э.В., Киру С.Д. Выдающиеся ученые-картофелеводы ВИР: вклад в развитие коллекции, селекции и систематики картофеля // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2014. Т. 175, вып. 4. С. 5–12. [На с. 6, 9: упоминание о Н.И. Вавилове].

2015. Буренин В.И. Д. Д. Брежнев – неутомимый исследователь растительных ресурсов, прекрасный организатор науки и производства, наставник научных кадров (к 110-летию со дня рождения) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, вып. 3. С. 250–259. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-3-250-259 [На с. 250–253, 255, 257, 258: упоминание о Н.И. Вавилове].

Вишнякова М.А. «Лаврами не увлекайтесь, это дешевый товар...» (роль Н. И. Вавилова в становлении Г. Д. Карпеченко как руководителя генетических исследований в ВИР) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, вып. 2. С. 131–145. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-2-131-145

Косарева И.А. Иван Иванович Туманов – выдающийся специалист в области физиологии устойчивости растений // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, вып. 4. С. 381–390. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-4-381-390 [На с. 381, 382, 385, 388: упоминание о Н.И. Вавилове].

Кутузова С.Н. Жизнь, отданная науке (о Екатерине Владимировне Эллади) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, вып. 3. С. 260–267. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-3-260-267 [На с. 260–263, 265, 267: упоминание о Н.И. Вавилове].

Семевский Р.Б. Отцы пустыньники и жены непорочны... // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, вып. 3. С. 268–279. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-3-268-279 [На с. 268–279: упоминание о Н.И. Вавилове].

Юшев А.А. Отделу генетических ресурсов плодовых культур ВИР 90 лет // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, вып. 4. С. 370–380. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-4-370-380 [На с. 370, 371, 373, 374: упоминание о Н.И. Вавилове].

Temirbekova S.K., van Mansvelt J.D. Population aspect in organic agriculture // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2015. Vol. 176, Iss. 2. P. 197–209. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2015-2-197-209> [На с. 199, 209: упоминание о Н.И. Вавилове].

2016. Дзюбенко Н.И., Кочегина А.А. Роль Н. И. Вавилова и ученых ВИР в освоении пустынь // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2016. Т. 177, вып. 1. С. 5–34. DOI: 10.30901/2227-8834-2016-1-5-34

Лоскутов И.Г. Роберт Эдуардович Регель (1867–1920) – заведующий Бюро по прикладной ботанике // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2016. Т. 177, вып. 2. С. 122–132. DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-122-132 [На с. 126, 127, 129, 130: упоминание о Н.И. Вавилове].

2017. Дзюбенко Н.И., Бухтеева А.В., Кочегина А.А. Многолетние и однолетние засухо- и солеустойчивые кормовые растения в вавиловской коллекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, вып. 1. С. 5–23. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-1-5-23 Из содерж.: (Классификация засухоустойчивых кормовых растений по Н.И. Вавилову. С. 8–9). [На с. 8, 9, 14, 23: упоминание о Н.И. Вавилове].

Манойленко К.В. Их интересы соединялись : И. П. Бородин и Н. И. Вавилов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, вып. 3. С. 117–122. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-3-117-122

Орел Л.И., Трускинов Э.В. Григорий Андреевич Левитский // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, вып. 1. С. 104–113. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-1-104-113 [На с. 104–109, 111–112: упоминание о Н.И. Вавилове].

Смекалова Т.Н. Секция культурных растений в столетней истории Русского ботанического общества (РБО) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, вып. 4. С. 135–140. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-135-140 [На с. 136–140: упоминание о Н.И. Вавилове].

2018. Буравцева Т.В., Егорова Г.П., Вишнякова М.А. Паспортная база данных коллекции фасоли ВИР как инструмент систематизации генетического разнообразия, изучения истории коллекции и мониторинга мировой селекции культуры (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 4. С. 164–176. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-4-164-176 [На с. 168, 174, 205: упоминание о Н.И. Вавилове].

Лоскутова Н.П., Озерская Т.М. Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Индии // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 4. С. 191–205. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-4-191-205 [На с. 191–195, 197, 205: упоминание о Н.И. Вавилове].

Ляпунова О.А. Средиземноморские староместные сорта твердой пшеницы, сохраняемые в коллекции ВИР. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 3. С. 68–84. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-68-84 [На с. 70, 71, 84: упоминание о Н.И. Вавилове].

Соколова Е.А., Котелкина И.В. Журнал «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции»: к 110-летию со дня основания // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 3. С. 332–357. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-332-357 [На с. 336, 339–349, 351, 356, 357: упоминание о Н.И. Вавилове].

Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Реализация идей Н. И. Вавилова в селекции ячменя в Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 1. С. 78–88. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-78-88

Теханович Г.А. Научное наследие К. И. Пангалло и его роль в развитии идей Н. И. Вавилова в изучении и использовании в селекции мировой коллекции бахчевых культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 1. С. 114–125. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-114-125

Хлесткина Е.К. Вступительное слово главного редактора // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179, вып. 3. С. 10–11. [На с. 10, 11: упоминание о Н.И. Вавилове – директоре ВИР, главном редакторе «Трудов...» (1921–1940)]. URL: <https://elpub.vir.nw.ru/jour/article/view/275> [дата обращения: 19.10.2022]

2020. Мамедова С.М., Вишнякова М.А. Генетическое разнообразие коллекции бобов (*Vicia faba*) ВИР и его использование в селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, вып. 3. С. 181–189. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-181-189 [На с. 181, 182, 188: упоминание о Н.И. Вавилове].

Плотникова А.Г. В. И. Нилов – «очень скромный человек и серьезнейший научный работник» (об одном комментарии в письме М. Горького И. В. Сталину) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, вып. 4. С. 222–227. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-222-227 [На с. 222, 223, 225: упоминание о Н.И. Вавилове].

Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б., Соколова Д.В. Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, вып. 2. С. 156–166. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166 [На с. 157, 160: упоминание о Н.И. Вавилове].

Травина С.Н. Полярная опытная станция ВИР – северный форпост исследований картофеля // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, вып. 1. С. 139–145. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-139-145 [На с. 141: упоминание о Н.И. Вавилове].

Хлесткина Е.К. От главного редактора журнала «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции» [Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости : 100 лет] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, вып. 4. С. 9–13.

2021. Вавилов Н. И. – главный редактор «Трудов...» (1921–1940) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, вып. 3. С. 9–11. URL: <https://elpub.vir.nw.ru/jour/article/view/1023> [дата обращения: 23.10.2022]

Вишнякова М.А. Человек, стоящий на глобусе // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, вып. 3. С. 186–190. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-186-190

Лоскутова Н.П., Озерская Т.М. Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Южной и Юго-Восточной Азии // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, вып. 1. С. 186–198. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-186-198 [На с. 187, 198: упоминание о Н.И. Вавилове].

Mcpartland J.M. Tatyana Yakovlevna Serebryakova : a forgotten hemp expert // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021. Vol. 182, Iss. 4. P. 166–171. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-166-171 [На с. 166–168, 170: упоминание о Н.И. Вавилове].

Хаблова Е.С. Бюро интродукции ВИР и его взаимодействие с французскими учреждениями в 1920–1930-е гг. (по материалам ЦГАНТД СПб) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, вып. 1. С. 259–267. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-259-267 [На с. 259–262, 264–267: упоминание о Н.И. Вавилове].

2022. Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России : от коллекций к биоресурсным центрам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, вып. 1. С. 9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30 [На с. 11, 14, 30: упоминание о Н.И. Вавилове].

Чепинога И.С. Интродукция и изучение видового полиморфизма миндаля в генофонде Крымской опытно-селекционной станции – филиала ВИР на этапе предварительной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, вып. 2. С. 103–112. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-2-103-112 [На с. 105, 112: упоминание о Н.И. Вавилове].

Список учреждений, сотрудники которых опубликовали статью в журнале «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», т. 183, вып. 1–4, 2022

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

Южно-Сибирский ботанический сад Алтайского государственного университета, Барнаул, Россия

Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Орловская область, Россия

Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, Краснодар, Россия

Государственный природный биосферный заповедник «Шульган-Таш», Бурзянский район, Башкортостан, Россия

Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Махачкала, Россия

Прикаспийский институт биологических ресурсов – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова Российской академии наук, Москва, Россия

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, Москва, Россия

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия

Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук РАН, Сыктывкар, Россия

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, Ялта, Россия

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

ОГУП «Бакчарское», Томская область, Россия

ООО ТПК «САВА», Томск, Россия

Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самара, Россия

Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Тольятти, Россия

Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Самарская область, Россия

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Прикумская опытно-селекционная станция – филиал Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра, Буденновск, Россия

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Челябинск, Россия

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Уфа, Россия

Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

Южно-Уральский ботанический сад-институт – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия

- Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия
- Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия
- Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия
- Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, Волгоградская область, Россия
- Крымская опытно-селекционная станция – филиал ВИР, Крымск, Россия
- Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Краснодарский край, Россия
- Майкопская опытная станция – филиал ВИР, Майкоп, Россия
- Полярная опытная станция – филиал ВИР, Апатиты, Россия
- Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
- Курчатовский геномный центр Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
- Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия
- Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия
- Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Москва, Россия
- Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха, Ленинградская область, Россия
- Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Красноярск, Россия
- Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Красноярск, Россия
- Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская область, Россия
- Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия
- Федеральный исследовательский центр «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Тюмень, Россия
- Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Тюменская область, Россия
- Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия
- Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки, Уссурийск, Россия
- Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия
- Федеральный научный центр овощеводства, Московская область, Россия
- Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал Федерального научного центра овощеводства, Волгоградская область, Россия
- Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия
- Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Тюменская область, Россия
- Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия
- Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
- Южно-Уральский государственный природный заповедник, Белорецкий район, Башкортостан, Россия
- A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, Shortandy-1, Kazakhstan
- Aktobe Agricultural Experimental Station, Aktobe, Kazakhstan
- Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
- Baishiev University, Aktobe, Kazakhstan
- Eskisehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey
- European University of Lefke, Gemikonagi, Northern Cyprus
- Gaziantep University, Gaziantep, Turkey
- Iğdır University, Iğdır, Turkey
- Postgraduate Education Institute, Iğdır University, Iğdır, Turkey
- Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan
- Mohammed V University, Agdal (Rabat), Morocco
- Official Laboratory of Chemical Analysis and Research, Casablanca, Morocco
- Quang Nam University, Quangnam, Vietnam
- Sorbonne Université, Paris, France
- Stende Research Centre, Institute of Agricultural Resources and Economics, Dizstende, Latvia
- Vietnam–Hungary Industrial University, Hanoi, Vietnam

**Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции /
Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding**

**Научный рецензируемый журнал /
Scientific Peer Reviewed Journal**

ISSN 2227-8834 (Print); ISSN 2619-0982 (Online)
4 выпуска в год (ежеквартально) / Publication frequency: quarterly
<https://elpub.vir.nw.ru>; e-mail: trudyVIR@vir.nw.ru

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English
Индексируется в РИНЦ (НЭБ), Scopus, RSCI, DOAJ, AGRIS, входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук / Indexed/abstracted by the Russian Science Citation Index on eLIBRARY.RU platform, Scopus, Russian Science Citation Index (RSCI) on the Web of Science platform, DOAJ, AGRIS, included in the list of publications recognized by the Russian Higher Attestation Commission (VAK RF) when candidate and doctoral dissertations are defended.

Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts
<https://elpub.vir.nw.ru>
<http://www.vir.nw.ru/trudy>
<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=27909>

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru> / Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <https://elpub.vir.nw.ru>

Прием статей через электронную редакцию на сайте журнала <https://elpub.vir.nw.ru>. Предварительно необходимо зарегистрироваться как автору, затем в правом верхнем углу страницы выбрать «Отправить рукопись». После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи / Manuscripts are accepted via the online editing resource at the Journal's website <https://elpub.vir.nw.ru>. The sender needs to register as the author and select in the upper righthand corner "Send a manuscript". After the loading of the materials, the option "Send a letter" is to be chosen, so that the editors would be automatically informed that a new manuscript has been received.

Научный редактор: *Е.А. Соколова*
Корректора: *А.Г. Крылов*
Компьютерная верстка: *А.В. Иванов*

Адрес редакции:

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42
Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: trudyVIR@vir.nw.ru; i.kotielkina@vir.nw.ru

Почтовый адрес редакции

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44

Подписано в печать 12.12.2022. Формат 70×100¹/₈.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 34,5. Тираж 300 экз. Заказ № 378/1.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР),
редакционно-издательский сектор ВИР

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42

000 «ОЛИВА»
190020, Санкт-Петербург, Старо-Петергофский пр., д. 44, лит. А, пом. 4

