

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

**ТРУДЫ
ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 182
выпуск 1**

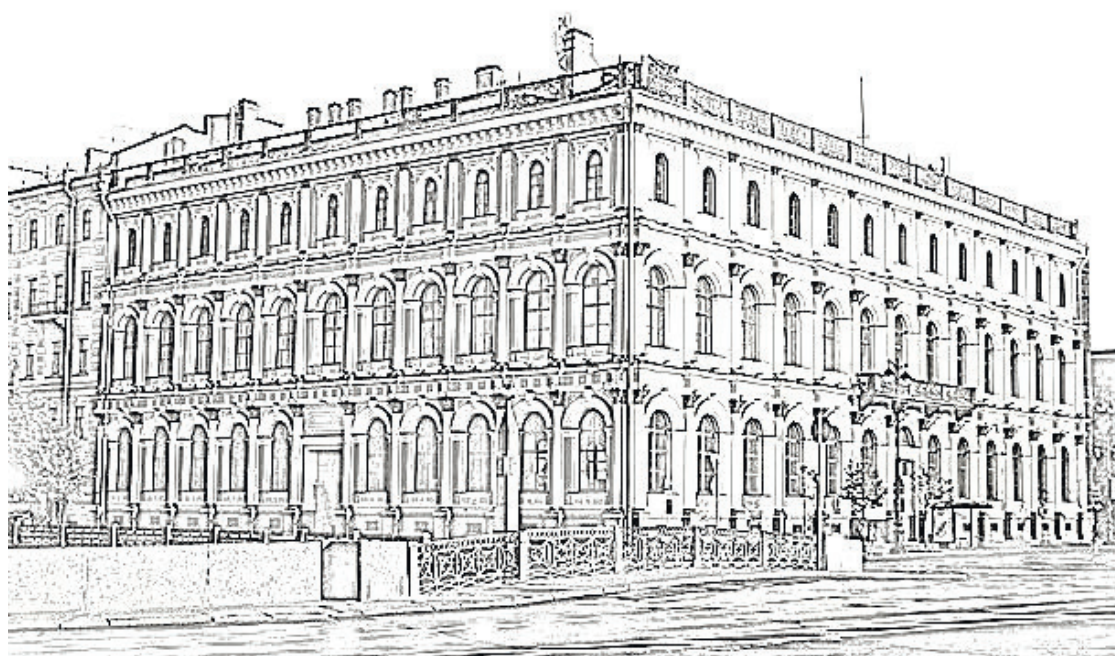
(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

**PROCEEDINGS
ON APPLIED BOTANY, GENETICS
AND BREEDING, vol. 182
issue 1**

(founded by Robert Regel in 1908)

**ST. PETERSBURG
2021**



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)

**PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY,
GENETICS AND BREEDING**

volume 182
issue 1



EDITOR-IN-CHIEF
E. K. Khlestkina

EDITORIAL BOARD

M. A. Vishnyakova (Deputy Editor-in-Chief), I. G. Loskutov (Deputy Editor-in-Chief), O. P. Mitrofanova (Deputy Editor-in-Chief), L. Yu. Schipilina (Executive Secretary), I. N. Anisimova, N. B. Brutch, I. G. Chukhina, O. B. Dobrovolskaya, V. I. Dorofeev, G. I. Filipenko, T. A. Gavrilenko, K. S. Golokhvast, V. M. Gorina, E. B. Hatefov, V. N. Korzun, T. V. Matveeva, S. S. Medvedev, N. V. Mironenko, I. V. Mitrofanova, E. E. Radchenko, I. D. Rashal, A. V. Rodionov, M. M. Silantyeva, O. V. Soloduhina, E. K. Turuspekov, Yu. V. Ukhatova, N. M. Zoteeva

EDITORIAL COUNCIL

O. S. Afanasenko, G. A. Batalova, A. Berville, L. A. Bespalova, A. Börner, A. Diederichsen, M. V. Duka, G. V. Eremin, N. Friesen, N. P. Goncharov, K. Hammer, V. Holubec, A. V. Kilchevsky, M. M. Levitin, A. I. Morgunov, H. A. Muminjanov, I. A. Tikhonovich

Editor in charge of this issue: *E. K. Khlestkina, E. A. Sokolova*
translator: *A. G. Krylov*

ST. PETERSBURG

2021

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ**

**том 182
выпуск 1**



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Е. К. Хлесткина

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*М. А. Вишнякова (зам. главного редактора), И. Г. Лоскутов (зам. главного редактора),
О. П. Митрофанова (зам. главного редактора), Л. Ю. Шипилина (ответственный секретарь),
И. Н. Анисимова, Н. Б. Брач, Т. А. Гавриленко, К. С. Голохваст, В. М. Горина, О. Б. Добровольская,
В. И. Дорофеев, Н. М. Зотеева, В. Н. Корзун, Т. В. Матвеева, С. С. Медведев, Н. В. Мироненко,
И. В. Митрофанова, Е. Е. Радченко, И. Д. Рашаль, А. В. Родионов, М. М. Силантьева,
О. В. Солодухина, Е. К. Турусбеков, Ю. В. Ухатова, Г. И. Филипенко, Э. Б. Хатефов, И. Г. Чухина*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*О. С. Афанасенко, Г. А. Баталова, А. Бервилле, А. Бёрнер, Л. А. Беспалова, В. Голубец,
Н. П. Гончаров, А. Дидериксен, М. В. Дука, Г. В. Еремин, А. В. Кильчевский, М. М. Левитин,
А. И. Моргунов, Х. А. Муминджанов, И. А. Тихонович, Н. В. Фризен, К. Хаммер*

Ответственные редакторы выпуска: *Е. К. Хлесткина, Е. А. Соколова*
переводчик: *А. Г. Крылов*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ. Т. 182, вып. 1. СПб., 2021. 199 с.

В условиях Казахстана изучен голозерный овес из коллекции ВИР на качественные показатели. Исследована потенциальная зимостойкость образцов и генотипов озимой мягкой пшеницы с помощью анализа автофлуоресценции тканей проростков. Рассмотрена специфика интегративного действия факторов внешней среды влажных субтропиков России на сорта фундука. Обсуждаются перспективы интродукции *Symphytum asperum* в условиях Крайнего Севера РФ. Образцы ячменя оценены на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири. Образцы житняка (*Agropyron Gaertn.*) из мировой коллекции генетических ресурсов растений ВИР проанализированы в условиях Якутии. Определены адаптивные параметры коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. Приведена комплексная биохимическая характеристика кориандра (*Coriandrum sativum* L.). Выявлено разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютеина и дана оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях. Технологические свойства зерна и муки исследованы у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – носителей локусов *Ha* и *Ha-Sp*, определяющих структуру эндосперма. Изложены аспекты применения метода химического мутагенеза при создании сортов *Calendula officinalis* L. На основе дикорастущих видов черемухи рассмотрено создание крупноплодных сортов для северных и восточных регионов России. Дана характеристика морфологического и генетического полиморфизма интродукционной популяции *Prunus pumila* L. в Челябинской области. Проведено эколого-географическое изучение маша (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) из коллекции ВИР. Дана оценка устойчивости ячменя к мучнистой росе на юге Дагестана. Исследовано влияние температурных режимов хранения семян сосны и ели на всхожесть и зараженность патогенными грибами. Сделан сравнительный анализ степени влияния глютеинов на качество зерна как одного из сложных полигенных признаков рода *Triticum*. Представлена история мобилизации генетических ресурсов растений с территории Южной и Юго-Восточной Азии в коллекцию ВИР.

Табл. 66, рис. 54, библиогр. 424 назв.

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

PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING. Vol. 182, iss. 1. SPb., 2021. 199 p.

Naked oats from the global germplasm collection of the Vavilov Institute (VIR) have been evaluated for qualitative characters under the conditions of Kazakhstan. Potential winter hardiness has been studied in winter bread wheat accessions and genotypes using the autofluorescence analysis of seedling tissues. The integrative effect of environmental factors on hazelnut cultivars has been analyzed specifically for the Russian humid subtropics. Prospects of *Symphytum asperum* introduction into the Russian Far North environments are discussed. The content of β -glucans and other useful traits have been assessed in barley genotypes under the conditions of Eastern Siberia. Wheatgrass (*Agropyron Gaertn.*) accessions from the VIR collection have been grown and analyzed in Yakutia. Adaptability patterns have been identified for hulled oat germplasm accessions in the context of their yield in Kirov Province. Complex biochemical characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) are presented. The diversity of high-molecular-weight glutenin subunits has been revealed in spring bread wheat cultivars from different breeding centers and their genetic similarities are evaluated. Technological properties of grain and flour have been studied in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines carrying the *Ha* and *Ha-Sp* loci that determine the endosperm structure. Various aspects of applying the method of chemical mutagenesis to develop cultivars of *Calendula officinalis* L. are considered. The potential of wild species has been assessed for the development of large-fruited bird cherry cultivars for northern and eastern regions of Russia. The *Prunus pumila* L. population introduced into Chelyabinsk Province is analyzed for its morphological and genetic polymorphism. Mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) accessions from the VIR collection have undergone ecogeographic assessment. Powdery mildew resistance of barley has been studied in Southern Dagestan. The impact of temperature patterns during storage of pine and spruce seeds on their germination and fungal infection rates has been investigated. A comparative analysis of the effect of glutenin on grain quality as one of the complex polygenic traits in the genus *Triticum* has been performed. The history of plant genetic resources mobilized from South and Southeast Asia to the VIR collection is presented.

Табл. 66, fig. 54, ref. 424.

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

CONTENTS

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Abugalieva A.I., Loskutov I.G., Savin T.V., Chudinov V.A. Evaluation of naked oat accessions from the VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan.....	9
Besedina T.D., Boyko A.P., Tutberidze Ts.V., Kiseleva N.S. Specific nature of the integrative (complex) effect of environmental factors on hazelnut cultivars in the Russian humid subtropics.....	22
Karkhardin I.V., Konovalov A.A., Goncharov N.P. Assessment of potential winter hardiness in winter bread wheat cultivars and genotypes by analyzing autofluorescence in seedling tissues.....	33
Korelina V.A., Batakova O.B. Prospects for the introduction of <i>Symphytum asperum</i> into the Far North of the Russian Federation.....	41
Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S.A. Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia.....	48

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

Koryakina V.M., Kochegina A.A. Results of studying wheatgrass (<i>Agropyron</i> Gaertn.) accessions from the VIR global genetic resources collection in Yakutia.....	59
Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province.....	72
Khmelinskaya T.V., Smolenskaya A.E., Solovyeva A.E. Complex biochemical characteristics of <i>Coriandrum sativum</i> L.	80

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Simonov A.V., Pshenichnikova T.A. Technological properties of grain and flour in bread wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes carrying two loci that determine the endosperm structure.....	91
Utebayev M.U., Bome N.A., Zemtsova E.C., Kradetskaya O.O., Chilimova I.V. Diversity of high-molecular-weight glutenin subunits and evaluation of genetic similarities in spring bread wheats from different breeding centers.....	99
Khazieva F.M., Korotkikh I.N. Aspects of applying the method of chemical mutagenesis to develop cultivars of <i>Calendula officinalis</i> L.....	110

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

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.....	123
---	-----

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

Burlyaeva M.O., Gurkina M.V., Samsonova M.G., Vishnyakova M.A. Ecogeographic assessment of mung bean (<i>Vigna radiata</i> (L.) R. Wilczek) from the collection of the Vavilov Institute (VIR)	131
Lezin M.S., Asbaganov S.V. Morphological and genetic polymorphism of the introduced population of <i>Prunus pumila</i> L. in Chelyabinsk Province.....	142

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Batasheva B.A., Abdullaev R.A., Kovaleva O.N., Zveinek I.A., Radchenko E.E.

Powdery mildew resistance of barley in Southern Dagestan153

Nikolaeva M.A., Varentsova E.Yu., Safina G.F.

The impact of temperature patterns during storage of Scots pine and Norway spruce seeds
on their germination and fungal infection rates.....157

SURVEYS

Vorotyntseva M.V.

The effect of glutenins on grain quality as one of the complex polygenic traits in the genus *Triticum* (a review) 168

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Loskutova N.P., Ozerskaya T.M.

Mobilization of plant genetic resources from South and Southeast Asia 186

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Абугалиева А.И., Лоскутов И.Г., Савин Т.В., Чудинов В.А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана	9
Беседина Т.Д., Бойко А.П., Тутберидзе Ц.В., Киселева Н.С. Специфика интегративного (комплексного) действия факторов внешней среды влажных субтропиков России на сорта культуры фундука.....	22
Кархардин И.В., Коновалов А.А., Гончаров Н.П. Изучение потенциальной зимостойкости сортообразцов и генотипов озимой мягкой пшеницы с помощью анализа автофлуоресценции тканей проростков.....	33
Корелина В.А., Батакова О.Б. Перспективы интродукции <i>Symphytum asperum</i> Lepech. в условиях Крайнего Севера РФ	41
Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С.А. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири	48

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Корякина В.М., Кочегина А.А. Результаты изучения образцов рода Житняк (<i>Agropyron</i> Gaertn.) из мировой коллекции генетических ресурсов растений ВИР в условиях Якутии	59
Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермязова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области.....	72
Хмелинская Т.В., Смоленская А.Е., Соловьева А.Е. Комплексная биохимическая характеристика кориандра (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	80

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Симонов А.В., Пшеничникова Т.А. Технологические свойства зерна и муки у линий мягкой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.) – носителей локусов <i>Ha</i> и <i>Ha-Sp</i> , определяющих структуру эндосперма	91
Утебаев М.У., Боме Н.А., Земцова Е.С., Крадецкая О.О., Чилимова И.В. Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютелина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях.....	99
Хазиева Ф.М., Коротких И.Н. Аспекты применения метода химического мутагенеза при создании сортов <i>Calendula officinalis</i> L.	110

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Симагин В.С., Локтева А.В. Создание крупноплодных сортов черемухи на основе дикорастущих видов для северных и восточных регионов России	123
---	-----

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Бурляева М.О., Гуркина М.В., Самсонова М.Г., Вишнякова М.А. Эколого-географическое изучение маша (<i>Vigna radiata</i> (L.) R. Wilczek) из коллекции ВИР	131
Лёзин М.С., Асбаганов С.В. Морфологический и генетический полиморфизм интродукционной популяции <i>Prunus pumila</i> L. в Челябинской области	142

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Баташева Б.А., Абдуллаев Р.А., Ковалева О.Н, Звейнек И.А., Радченко Е.Е.

Устойчивость ячменя к мучнистой росе на юге Дагестана.....153

Николаева М.А., Варенцова Е.Ю., Сафина Г.Ф.

Влияние температурных режимов хранения семян сосны и ели

на всхожесть и зараженность патогенными грибами157

ОБЗОРЫ

Воротынцева М.В.

Степень влияния глютелинов на качество зерна как одного из сложных

полигенных признаков рода *Triticum* (обзор) 168

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Лоскутова Н.П., Озерская Т.М.

Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Южной и Юго-Восточной Азии 186

Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21

УДК 633.16:631.52

Поступление/Received: 23.12.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



А. И. АБУГАЛИЕВА¹, И. Г. ЛОСКУТОВ^{2*},
Т. В. САВИН³, В. А. ЧУДИНОВ³

Evaluation of naked oat accessions from the VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan

A. I. ABUGALIEVA¹, I. G. LOSKUTOV^{2*},
T. V. SAVIN³, V. A. CHUDINOV³

¹ Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, 40909 Республика Казахстан, Алматинская обл., Карасайский р-н, п. Алмалыбак, ул. Ерленесова, 1

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44

³ Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция, 10908 Республика Казахстан, Костанайская обл., Карабалыкский р-он, п. Научный, ул. Тимирязева, 1

* i.loskutov@vir.nw.ru

¹ Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production, 1 Erlepesova St., Almalybak, Karasay District, Almaty Region 40909, Republic of Kazakhstan

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia

³ Karabalyk Agricultural Experimental Station, 1 Timiryazeva St., Nauchny Settlement, Karabalyk District, Kostanay Region 10908, Republic of Kazakhstan

* i.loskutov@vir.nw.ru

Актуальность. Зерно голозерных сортов овса имеет более оптимальный биохимический состав для производства качественных диетических продуктов питания и кормов. Сравнительно низкая адаптивность сдерживает распространение сортов голозерного овса, популярность которых год от года растет. В настоящее время в Казахстане районированы только пленчатые сорта овса; таким образом, направление селекции для создания высокопродуктивных голозерных сортов овса является довольно актуальным.

Материалы и методы. Исследовали 35 образцов голозерного овса (*Avena sativa* L. subsp. *nudisativa* (Husnot.) Rod. et Sold.) из мировой коллекции ВИР, подобранных для условий Казахстана по вегетационному периоду, засухоустойчивости и зерновой продуктивности. Изучение проводили в 2015–2017 гг. на полях Казахского НИИ земледелия и растениеводства (КИЗ, г. Алматы) и Карабалыкской сельскохозяйственной опытной станции (г. Костанай). Качество зерна голозерного овса оценивали по комплексу биохимических характеристик различными методами: содержание белка и его фракций, крахмала и амилозы, масла и жирных кислот, β -глюканов.

Результаты. Изучение данного набора образцов голозерного овса из коллекции ВИР в условиях юго-востока Казахстана показало более высокие средние показатели содержания протеина в зерне по сравнению с условиями севера. В результате изучения для условий юго-восточных и северных регионов Казахстана выделены образцы голозерного овса с повышенными и стабильными показателями содержания протеина, крахмала, амилозы, жира, отдельных жирных кислот и β -глюканов. Весь выделенный материал будет использован в селекционных программах Республики Казахстан для создания высокоурожайных высококачественных голозерных сортов овса.

Ключевые слова: белок, протеин, аминокислотный состав, крахмал, амилоза, жир, жирнокислотный состав, β -глюканы, газовая хроматография.

Background. The grain of naked oat varieties has a unique biochemical composition (increased content of protein, starch, fat, and β -glucans) for the production of high-quality dietary food and feed. Relatively low adaptability restrains the spread of naked oat cultivars, but the demand for them has been increasing from year to year. Currently, only hulled oat cultivars are introduced into industrial cultivation in Kazakhstan, so the breeding trend aimed at the development of high-yielding naked oat cultivars may be regarded as a priority.

Materials and methods. Thirty-five accessions of naked oats (*Avena sativa* L. subsp. *nudisativa* (Husnot.) Rod. et Sold.) were selected from the germplasm collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) for their suitability for the conditions in Kazakhstan in terms of the growing season, drought resistance and grain productivity. The study was carried out in 2015–2017 in the fields of the Kazakh Research Institute of Agriculture and Crop Production (Almaty) and the Karabalyk Agricultural Experimental Station (Kostanay). Grain quality of naked oats was assessed by various methods according to a set of biochemical characters: the content of protein and its fractions, starch, amylose, fat and fatty acids, and β -glucans.

Results. The study of naked oat accessions from VIR in the environments of the southeastern Kazakhstan showed higher average values of protein content in grain than under the conditions in the north. As a result of the study, naked oat accessions with increased and stable indicators of the content of protein, starch, amylose, fat, individual fatty acids and β -glucans were identified for the conditions of the southeastern and northern regions of Kazakhstan. All selected accessions will be used in breeding programs of the Republic of Kazakhstan to develop high-yielding and high-quality naked oat cultivars.

Key words: protein, amino acid composition, starch, amylose, fat, fatty acid composition, β -glucans, gas chromatography.

Введение

Овес – одна из наиболее распространенных и важных зерновых культур в мировом производстве. Посевы этой культуры в мире, по данным ФАО, составляют свыше 12,0 млн га с валовым сбором около 27,0 млн т при средней урожайности 2,3 т/га. Для различных регионов России в настоящее время в Реестре селекционных достижений РФ по овсу насчитывается 123 сорта ярового и 5 сортов озимого овса, среди них 11 сортов голозерного овса (Loskutov, 2007). В Казахстане зарегистрировано 12 сортов пленчатого овса, в том числе 6 сортов казахстанской селекции, при посевной площади под овсом 200–250 тыс. га (Abugalieva, Azhgaliev, 2010b; Zhundibaev, Sariev, 2009). Одним из пионеров селекции овса в Казахстане является Красноводопадская селекционно-опытная станция (Красноводопадская СОС), которая начала проводить селекционную работу по овсу с 1929 г. Среди первых сортов этой станции были ‘Красноводопадский 167’ и ‘Красноводопадский 132/4093’. В Казахстане наибольшие территории были заняты районированными сортами овса: ‘Золотой дождь’, ‘Орел’, (Швеция), ‘Марктон’ (США), ‘Льговский 102’, ‘Мирный’ (Россия), ‘Синельниковский 14’ (Украина). В настоящее время целенаправленная работа по селекции ярового овса в Казахстане проводится в Казахском НИИ земледелия и растениеводства (КИЗ) и в Казахском НИИ зернового хозяйства им. А.И. Бараева (КазНИИЗХ). До 2000 г. селекция зимующего овса проводилась на Красноводопадской СОС. Силами селекционеров этих учреждений за последние годы созданы следующие сорта овса: ‘Эверест’, ‘Балауса’, ‘Сарыагаш’, ‘Онтустик’ (Красноводопадская СОС); ‘Казахстанский 70’, ‘Тулпар’, ‘Аргымак’, ‘Кулагер’, ‘Байге’, ‘Аламан’, ‘Жорга’ (КИЗ); ‘Битик’, ‘Иртыш-15’, ‘Арман’, ‘Никола’ (КазНИИЗХ). Из сортов, допущенных к использованию в Республике Казахстан, широко возделываются такие сорта, как ‘Казахстанский 70’, ‘Аргымак’, ‘Кулаг’, ‘Байге’ и ‘Битик’ (Zhundibaev, Sariev, 2009).

Все созданные сорта приспособлены к возделыванию в определенных зонах их районирования и соответствуют моделям сортов, описанным в работах оригинаторов (Kravchenko, 2004; Zhundibaev, Sariev, 2009; Konurbekov, 2001).

Наряду с пленчатыми сортами в России и других странах используют голозерные сорта овса, которые по сравнению с пленчатыми характеризуется рядом преимуществ при их переработке. Такие сорта имеют уникальный биохимический состав зерна для производства качественных диетических продуктов питания и кормов. Сравнительно низкая адаптивность сдерживает распространение сортов голозерного овса, спрос на использование которых год от года возрастает. В настоящее время в Казахстане районированы только пленчатые сорта овса (Abugalieva, Azhgaliev, 2010c). Таким образом, направление селекции для создания высокопродуктивных голозерных сортов овса является довольно актуальным.

Белок овса очень ценен, и у различных сортов его ценность колеблется от 55 до 66 единиц. Пищевая ценность белка определяется, в первую очередь, содержанием незаменимых аминокислот – лизина, триптофана, метионина, треонина, валина, фенилаланина, лейцина, изолейцина. Белок овса легко усваивается организмом человека и отличается от белка пшеницы и ячменя повышенным содержанием незаменимых аминокислот. Ценность овса и продуктов его переработки на пищевые и кормо-

вые цели связана с особенностями биохимического состава его зерна.

Содержание протеина в зерне овса колеблется в широких пределах: от 9,0–23,9% для дикорастущих форм, а для посевного овса *Avena sativa* L. – в пределах 11–18% (Loskutov et al., 1999). Высокопродуктивные районированные пленчатые сорта овса, широко возделываемые в Западной Сибири, имеют невысокое содержание белка (в среднем 10,7–12,0%) и незначительно различаются по основным показателям качества зерна, о чем свидетельствуют многолетние данные конкурсного сортоиспытания (Kozlova, Akimova, 2009).

Для казахстанских сортов пленчатого овса характерны пределы содержания белка в зерне от 9,0% до 22,9% в зависимости от условий выращивания. Максимальными значениями отличались сорта ‘Казахстанский 70’ (22,9%), ‘Байге’ (21,1%), ‘Кулагер’ (20,8%) и ‘Скакун’ (20,7%), выращенные в более засушливых условиях (Abugalieva, 2011b). Для большинства районированных сортов наибольшее количество белка находится в пределах 12,1–14,0%. Сорта ‘Синельниковский 14’ и ‘Тарманский’ характеризуются в значительной степени уровнем белка 14–16%, сорта ‘Байге’, ‘Арман’ – 14,0–18,0%, а сорт ‘Аламан’ – 16–20% (Abugalieva et al., 2012b). Кластерный анализ позволил дифференцировать сорта по потенциалу и стабильности формирования уровня белка в зерне: высокобелковые (выше 16,0% протеина и с частотой встречаемости 12–25% для сортов ‘Скакун’, ‘Памяти Богачкова’, ‘Битик’, ‘Иртыш 15’, ‘Казахстанский 70’ и 40–99% для сортов ‘Байге’, ‘Арман’, ‘Марктон’ и ‘Аламан’) и относительно низкобелковые (до 14%) (Abugalieva et al., 2011a).

У сортов, выращенных в различных регионах Казахстана, содержание протеина в зерне уменьшалось от центральных районов через западные, северные, восточные к южным районам страны. Повышенным содержанием протеина характеризуются в основном сорта зернофуражного направления.

Качество белка зерна определяется наличием и соотношением его фракций, что влияет на специфику использования зерна овса на различные цели (Abugalieva, Azhgaliev, 2010a). Белковый комплекс зерна у пленчатых сортов овса (Kozlova, Akimova, 2009) был представлен в основном низкомолекулярными белками (альбуминами + глобулинами, 38,8–40,7%); у голозерных форм преобладали глютелины (47,3–50,4%). Содержание проламинов в зерне овса по сравнению с другими фракциями низкое (12,8–15,9%). При этом голозерные сорта отличались от пленчатых меньшим количеством спирторастворимых белков, что, в свою очередь, может свидетельствовать о лучшей сбалансированности белка голозерных форм по аминокислотному составу (Abugalieva, Azhgaliev, 2010b; Abugalieva et al., 2011a).

Первичный анализ содержания и соотношения фракций белка пленчатых форм овса Казахстана позволил выявить соотношение различных классов соединений: альбумин и глобулин – в пределах 22,1–40,0%, проламин (авенин) – в пределах 6,6–11,1% и глютелин – 19,9–43,0% к белку. Так, максимальное содержание водо- и солерастворимых соединений альбуминового и глобулинового типа было выявлено для сортов ‘Мирный’ и ‘Скакун’ (40 и 35% к белку соответственно), а по содержанию глютелинового типа выделились сорта ‘Скакун’ и ‘Тарманский’. Наименьшим количеством спирторастворимой авениновой фракции (с преобладанием аспарагиновой аминокислоты, пролина и ряда других особенностей аминокис-

лотного состава) отличались сорта 'Синельниковский 14', 'Алтайский крупнозерный', 'Шалкар' (6,6; 7,0 и 7,5% соответственно) (Abugalieva et al., 2011b).

Сорта, обладающие низкоавениновым типом белка, перспективны для получения из них продуктов безглютенового типа (gluten free) (Aalto-Kaarlehto et al., 1988), а также при добавлении таких сортов к пшеничной муке для производства хлебобулочных изделий в качестве основы здорового питания.

В овсяной муке содержание белков проламинового типа минимально, поэтому добавление овсяной муки в пшеничную повышает усвояемость белков. Однако сортовой аспект выбора лучшего сырья остается открытым, в том числе с учетом особенностей крахмального комплекса и состояния жирнокислотного состава – прежде всего, для голозерных форм.

В настоящее время приобретают особое значение технологические исследования зерновых и бобовых культур как сырья для функционального и здорового питания и, соответственно, биохимический скрининг для обоснования биотехнологического использования зерна (глубокая переработка клейковины, крахмала, спирта и т. д.). Важной характеристикой перевариваемости зерна является наличие в нем крахмала. По своей структуре крахмал овса стоит ближе к наиболее крахмалистой культуре – рису – и значительно отличается от крахмала пшеницы. По данным Г. Я. Козловой и О. В. Акимовой (Kozlova, Akimova, 2009), содержание крахмала – относительно стабильный показатель, который в меньшей степени (по сравнению с содержанием протеина) зависит от условий выращивания. При этом пленчатые сорта уступают голозерным формам по содержанию крахмала (48% против 57%). О сортовых особенностях качества крахмала овса можно судить по содержанию в нем амилозы и амилопектина (Abugalieva, 2011a, 2012). Содержание амилозы в крахмале овса в 1,5 раза ниже содержания этого компонента в крахмале пшеницы (Paton, 1986) и составляет 25–30%, выгодно отличаясь от крахмала других зерновых культур по своим физическим показателям (Peterson, 2004). Соотношение между ними определяет консистенцию каш и их развариваемость. Лучшие по сравнению с пленчатыми показатели качества крахмала в зерновке овса были выявлены у голозерных форм *A. sativa*. Максимальные показатели по содержанию амилозы в крахмале были найдены у форм *A. byzantina* К. Koch. Высокое качество крахмала было отмечено у австралийских районированных сортов овса, которые большей частью относятся к виду *A. byzantina* (Hall, Tarr, 2000). Содержание амилозы в зерне овса варьировало от 1,2% для сорта 'Никола' до 12,0% для сорта 'Жорга'.

По данным комиссии по сортоиспытанию Казахстана (Abugalieva, Azhgaliev, 2010b), содержание амилозы в зерне сортов овса варьировало от 3,0% ('Битик' и 'Никола') до 7,8% ('Памяти Богачкова') и 6,7% ('Скакун'). В среднем содержание амилозы в зерне сортов Казахстана варьирует от 3% до 12% в зависимости от генотипа и условий выращивания. Сорта 'Арман', 'Жорга' выделены как перспективные по качеству крахмала для переработки, а сорта 'Битик', 'Никола', 'Скакун' и 'Аламан' – как наиболее ценные по перевариваемости для диетического использования. Изучение коллекционных образцов ярового овса на содержание и качество жира важно для определения перспектив создания новых сортов овса для диетического использования (Abugalieva et al., 2011a).

Наиболее перспективными качественными показателями зерна, кроме традиционных – содержания белка

и крахмала, является содержание масла и в последнее время – β -глюканов (Loskutov, Polonskiy, 2017). Пищевая клетчатка, важная составляющая зерновки, содержит длинномолекулярные углеводы, лигнин и другие растительные вещества, в том числе β -глюканы (Abugalieva et al., 2011b). К клетчатке относят все неусвояемые олиго- и полисахариды, то есть не только растительного происхождения. Клетчатка может быть растворимой и нерастворимой. Однако такая классификация не совсем точна, так как, в частности, на растворимость клетчатки влияет ее молекулярный вес и способность абсорбироваться с другими растительными веществами (Abugalieva, Savin, 2013).

Новейшие исследования были сосредоточены на выяснении роли модификаций крахмала. Установлена важность структурных особенностей растительных и зерновых продуктов, содержащих крахмал. Продукты с высоким содержанием клетчатки (свыше 5%) и цельнозерновые продукты (макаронные изделия, ржаной хлеб, бобовые) с низким гликемическим индексом помогают сбалансировать уровень сахара в крови и способствуют снижению гликемического индекса (Gi). Продукты с низким Gi по сравнению с продуктами с высоким Gi, как правило, характеризуются меньшим удельным содержанием усваиваемых углеводов и повышенным удельным содержанием воды и пищевой клетчатки и поэтому обладают меньшей удельной калорийностью. Известно, что продукты из цельного зерна полезны как здоровая пища. Зерновые являются важным источником клетчатки. Роль клетчатки в понижении калорийности пищи и в снижении веса зависит от доли продуктов с высоким содержанием клетчатки в рационе человека.

Сорта 'Арман', 'Жорга' выделены как перспективные по качеству крахмала для переработки, а сорта 'Битик', 'Никола', 'Скакун' и 'Аламан' – как наиболее ценные по перевариваемости для диетического использования (Abugalieva, 2012).

Характерной особенностью зерна овса является высокое содержание масла (3–11%) – в 2–3 раза больше, чем у других зерновых (Abugalieva et al., 2012a). Овес является уникальным видом среди зерновых, поскольку более 50% общего жира отлагается в крахмалистом эндосперме, а не в зародыше развивающейся зерновки (Peterson, 2004). Овсяные масла более стойки к окислению, что связано с низким содержанием линолевой кислоты. В масле овса выделено десять высокомолекулярных карбоновых кислот, две из которых (линолевая и линоленовая) являются незаменимыми для человека и животных. Суммарное количество линолевой, олеиновой и пальмитиновой кислот достигает 90–95%, стеариновой и линоленовой – по 1–4%, что указывает на высокие пищевые качества масла (Batalova, 2009). Кроме того, содержание олеиновой кислоты может достигать уровня (более 40%) подсолнечного масла. Культурный овес обладает хорошо сбалансированным относительно других зерновых культур жирнокислотным составом. Триглицериды овсяного масла представлены двумя типами: мононенасыщенные + диненасыщенные (до 42,5%) и триненасыщенные (до 55,9%). Масло овса по количественным показателям жирных кислот имеет высокие пищевые достоинства: в его составе преобладает незаменимая линолевая кислота, а на долю линоленовой кислоты, также незаменимой, но быстро окисляющейся, приходится низкий процент от суммы всех кислот (Loskutov, 2007).

В США под руководством профессора К. J. Frey, всемирно признанного специалиста в области селекции

овса, в начале 1990-х годов с помощью рекуррентной селекции были получены линии на основе дикорастущих видов овса с содержанием масла до 16% (Freu, 1991). В Швеции в конце 1990-х годов селекционной компанией Svalöf Weibull был зарегистрирован первый сорт масличного овса 'Matilda' (масличность на уровне 10%).

В состав масла овса входят так называемые незаменимые для человека жирные кислоты: линолевая, линоленовая и арахидоновая. Эти кислоты условно объединены в группу под названием «витамин F». Овес является одним из источников поступления в организм этих биологически активных веществ. Важным показателем пищевой ценности овса является содержание в нем линоленовой кислоты, относящейся к полиненасыщенным омега-3 жирным кислотам (Loskutov, 2007). Потребность иметь продукты, максимально обогащенные биологически активными веществами, положительно воздействующими на здоровье человека, и растущее в связи с этим потребление овса в пищу обуславливают актуальность исследований биохимического состава зерна овса для поиска источников повышенного пищевого и кормового качества (Polonskiy et al, 2020).

Положительную существенную связь с уровнем плоидности и геномным составом образцов имело содержание мистидиновой, стеариновой и олеиновой кислот и отрицательную с содержанием полиненасыщенных линолевой, линоленовой и насыщенной арахидиновой кислотой. В большинстве случаев было показано, что при увеличении содержания насыщенных (пальмитиновой и стеариновой) и мононенасыщенных (олеиновой) жирных кислот в масле овса будет происходить уменьшение содержания полиненасыщенных кислот, которые легко подвергаются окислению при хранении зерна (Freu, 1991), что имеет подтверждение на казахстанском материале (между олеиновой и линоленовой кислотами $r = -0,55$).

Все сказанное выше показывает, что голозерные сорта овса, при их невысокой адаптивности, обладают достоверно высокими качественными показателями зерновки, которые могут быть использованы при получении высококачественных диетических продуктов питания и кормов для сельскохозяйственных животных.

Цель данного исследования – комплексно изучить образцы голозерного овса из коллекции ВИР в условиях Казахстана и выделить источники биохимических признаков зерновки с высоким уровнем урожайности для использования в селекции голозерного овса.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили 35 образцов голозерного овса (*Avena sativa* subsp. *nudisativa* (Husnot.) Rod. et Sold.) из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), которые были подобраны для условий Казахстана по вегетационному периоду, засухоустойчивости и зерновой продуктивности. Изучение проводили в 2015–2017 гг. на полях Казахского НИИ земледелия и растениеводства (КИЗ, г. Алматы) и Карабалыкской сельскохозяйственной опытной станции (г. Костанай).

Методы исследований. Качество зерна голозерного овса оценивали по комплексу биохимических характеристик (Savin et al., 1998) различными методами: содержание белка и фракций – методом Кьельдаля (ГОСТ 10846-91); содержание крахмала и амилозы – поляриметрическим методом; зольность – согласно ГОСТ 10847-74; содержание масла – на аппарате Сокслета согласно ГОСТ 10857-91; содержание жирных кислот – методом газовой хроматографии на хроматографе фирмы Agilent (США); содержание β-глюканов определяли спектрофлуориметрическим методом Ph. Williams.

Результаты

Содержание белка и белковых фракций в зерне голозерного овса

В 2015–2017 гг. было проведено изучение коллекции голозерного овса на содержание белка в зерне образцов, выращенных в условиях юго-востока (г. Алматы) и севера (г. Костанай) Казахстана. Данный набор характеризовался изменчивостью во все годы изучения по содержанию протеина – от 10,9% у к-14810 ('Salomon', Германия) до 21,1% у к-14533 (Местный, Китай) и к-14941 (Местный, Румыния) (табл. 1).

Таблица 1. Содержание белка в зерне образцов голозерного овса коллекции ВИР в условиях юго-востока и севера Казахстана в 2015–2017 гг.

Table 1. Protein content in the grain of naked oat accessions from the VIR collection, tested in the southeast and north of Kazakhstan in 2015–2017

№ по каталогу ВИР	Название	Происхождение	Содержание белка в зерне, %				
			юго-восток			север	
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.
14228	Бег	Беларусь	15,7±0,2	16,0±0,3	15,9±0,6	15,3±0,4	11,9±0,5
14345	Pennline 9010	США	17,9±0,2	18,2±0,2	17,3±0,3	16,9±0,3	18,1±0,2
14440	РА 8098-9033	США	18,3±0,3	17,9±0,2	17,3±0,3	17,0±0,2	13,5±0,3
14498	Купон	Великобритания	17,9±0,4	19,2±0,2	–	–	–
14530	ОА 504-6	Канада	16,1±0,3	14,3±0,4	14,4±0,6	13,9±0,5	16,4±0,4
14531	ОА 504-5	Канада	14,9±0,4	16,6±0,3	14,7±0,4	16,6±0,4	16,1±0,2

Таблица 1. Продолжение
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР	Название	Происхождение	Содержание белка в зерне, %				
			юго-восток			север	
			2015 г.	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.
14533	Местный	Китай	17,4±0,5	21,1±0,2	18,2±0,3	16,2±0,4	13,7±0,3
14537	James	США	19,0±0,2	20,7±0,2	19,3±0,2	19,8±0,2	19,1±0,2
14550	87 AB 5932	США	16,0±0,5	17,4±0,4	15,7±0,6	16,0±0,3	13,7±0,4
14594	Местный	Монголия	18,0±0,2	19,2±0,2	18,6±0,4	18,0±0,2	15,8±0,3
14595	Местный	Монголия	18,8±0,2	16,7±0,3	16,2±0,6	17,9±0,3	16,7±0,5
14602	Krypton	Великобритания	16,2±0,4	16,2±0,3	18,2±0,3	–	–
14605	Ripon	Великобритания	15,3±0,5	13,8±0,4	12,7±0,6	14,3±0,4	12,9±0,5
14610	AC Belmont	Канада	17,9±0,2	17,1±0,2	17,6±0,3	16,7±0,3	13,7±0,4
14616	Hull-less	Китай	18,8±0,3	19,2±0,2	18,4±0,4	17,3±0,2	13,2±0,3
14627	Anderes-1	Перу	14,7±0,4	20,1±0,2	18,3±0,4	17,6±0,2	14,5±0,2
14650	Mozart	Германия	15,6±0,2	16,0±0,4	16,4±0,5	15,8±0,4	15,2±0,4
14683	Bullion	Великобритания	18,2±0,2	16,4±0,3	15,2±0,6	15,9±0,4	14,6±0,5
14717	Пушкинский	РФ, Ленинградская обл.	17,4±0,3	16,8±0,3	15,8±0,5	16,2±0,3	13,7±0,3
14720	Витус	Беларусь	18,2±0,2	17,1±0,3	16,4±0,3	15,0±0,5	14,5±0,3
14763	Hja 72095 N	Финляндия	18,1±0,2	19,1±0,2	18,1±0,3	17,4±0,3	13,9±0,3
14784	Тюменский голозерный	РФ, Тюменская обл.	16,0±0,5	16,8±0,3	16,3±0,4	15,7±0,5	14,8±0,4
14791	Akt	Польша	15,1±0,5	16,2±0,4	15,7±0,6	13,4±0,5	11,9±0,5
14803	AC Baton	Канада	17,1±0,2	–	–	–	–
14808	Salvius	Германия	17,4±0,4	16,2±0,4	15,2±0,6	15,2±0,4	11,3±0,4
14809	Sallust	Германия	15,0±0,5	16,2±0,4	15,7±0,4	16,2±0,3	13,5±0,4
14810	Salomon	Германия	17,3±0,2	17,5±0,3	16,0±0,5	14,6±0,5	10,9±0,5
14832	Lisbeth	Финляндия	18,9±0,2	18,4±0,2	18,1±0,3	15,7±0,4	12,4±0,5
14851	Numbat	Австралия	19,2±0,2	18,9±0,2	18,9±0,3	14,2±0,5	14,6±0,3
14935	Izak	Чехия	16,3±0,4	15,9±0,4	15,8±0,5	14,8±0,5	13,5±0,4
14941	Местный	Румыния	20,0±0,2	16,8±0,3	15,9±0,5	17,7±0,3	18,6±0,2
14960	Вятский голозерный	РФ, Кировская обл.	16,2±0,3	16,8±0,3	16,4±0,4	16,3±0,4	14,7±0,3
14994	Yung 492	Китай	–	–	13,4±0,3	17,0±0,4	13,6±0,4
15014	Левша	РФ, Кемеровская обл.	15,0±0,3	17,4±0,2	18,1±0,3	17,1±0,3	15,2±0,3
Минимальное значение			14,7±0,2	13,8±0,4	12,7±0,6	13,4±0,5	10,9±0,5
Максимальное значение			20,0±0,2	20,7±0,2	19,3±0,3	19,8±0,3	19,1±0,2
Среднее значение			17,8±0,4	17,4±0,3	16,6±0,4	16,2±0,4	14,4±0,4

Изучение в условиях юго-востока Казахстана показало более высокие средние показатели содержания белка в зерне по сравнению с условиями севера. Среди высокобелковых был выделен образец к-14537 ('James', США) с максимальным содержанием белка во всех пунктах и во все годы изучения (19,0–20,7%). В условиях юго-востока Казахстана высоким содержанием протеина обладали образцы: к-14594 (Местный, Монголия) (18,6–19,2%); к-14616 ('Hull-less', Китай) (18,4–19,2%); к-14763 ('Hja 72055 N', Финляндия) (18,1–19,1%); к-14832 ('Lisbeth', Финляндия) (18,1–18,9%) и к-14851 ('Numbat', Австралия) (18,9–19,2%).

Наименьшим содержанием белка во все годы изучения отличались к-14605 ('Ripon', Великобритания) (12,9–15,3%) и к-14530 (ОА 504-6, Канада) (13,9–16,4%). В условиях юго-востока низкобелковыми были к-14531 (ОА 504-5, Канада) (14,7–16,6%), а в условиях севера – к-14791 ('Akt', Польша) (11,9–13,4%); к-14935 ('Izak', Чехия) (13,5–14,8%); к-14810 ('Salomon', Германия) (10,9–14,6%) и к-14851 ('Numbat', Австралия).

Содержание белка в условиях юго-востока в 2015 г. варьировало в пределах от 14,7% (к-14627, 'Anderes-1', Перу) до 20,0% (к-14941, Местный, Румыния). Наиболее продуктивные формы характеризовались относительно высоким содержанием белка: к-14935 ('Izak', Чехия) (16,3–15,8%); к-14650 ('Mozart', Германия) (15,6–16,4%); к-15014 ('Левша', Кемеровская обл.) (15,0–18,1%); к-14683 ('Bullion', Великобритания) (15,2–18,2%); к-14720 ('Витус', Беларусь) (16,1–18,2%); к-14550 (87 АВ 5932, США) (16,0–17,4%). Образцы к-14851 ('Numbat', Австралия), к-14440 (РА 8098-9033, США), к-14594 и к-14595 (Местный, Монголия) отмечены как высокопротеиновые в условиях юго-востока, а в условиях севера высоким содержанием белка отличались: к-14345 ('Pennline 9010', США) (16,9–18,1%); к-14595 (Местный, Монголия) (16,7–17,9%) и к-14941 (Местный, Румыния) (17,7–18,6%).

В условиях юго-востока средним повышенным содержанием белка (> 18,0%) в зерновке отличались генотипы: к-14498 ('Купон', Великобритания); к-14763 ('Hja 72055N', Финляндия); к-14832 ('Lisbeth', Финляндия); к-14537 ('James', США); к-14533 (Местный, Китай); к-14616 ('Hull-less', Китай); к-14594 (Местный, Монголия) и к-14851 ('Numbat', Австралия).

Таким образом, по содержанию белка образцы голозерного овса разделились на группы:

1) с высоким содержанием белка в условиях юго-востока и севера Казахстана: к-14345, 'Pennline 9010' (16,9–21,0%); к-14440, РА 8098-9033 (13,5–18,3%); к-14537, 'James' (16,7–20,7%); к-14941, Местный (Румыния) (16,8–20,0%).

2) с высоким содержанием белка только в условиях юго-востока Казахстана: к-14810, 'Salomon' (16,3–17,5%); к-14832, 'Lisbeth' (16,3–18,9%); к-14610, 'AC Belmont' (17,1–17,9%).

Низким содержанием белка во все годы изучения в условиях юго-востока характеризовался образец к-14605 ('Ripon', Великобритания).

Стабильно высокое содержание белка:

– во все годы и во всех пунктах изучения имели генотипы: к-14537 ('James', США) и к-14594 (Местный, Монголия);

– в условиях юго-востока Казахстана: к-14851 ('Numbat', Австралия);

– в условиях севера Казахстана: к-14941 (Местный, Румыния).

В условиях юго-востока Казахстана по максимальной зерновой продуктивности были выделены следующие образцы: 'Izak' > 'Mozart' > 'Ripon' > 87 АВ 5932 > 'Левша' > 'Billion' = 'Витус', а в условиях севера сорта варьировали по урожайности в ряду: 'Тюменский голозерный' > 'Anderes-1' > 'Левша'.

По урожайности в условиях юго-востока Казахстана стабильно максимальным значением выделялись образцы: к-14650 ('Mozart'); к-14610 ('AC Belmont'); к-14683 ('Bullion'); к-14784 ('Тюменский голозерный'); к-14791 ('Akt'); к-14808 ('Salvius'); к-14810 ('Salomon'); к-14832 ('Lisbeth'); к-14851 ('Numbat'); к-14935 ('Izak'); к-14941 (Местный, Румыния). В условиях севера Казахстана высокой зерновой продуктивностью отличались: к-15014 ('Левша'); к-14530 (ОА 504-6); к-14605 ('Ripon'); к-14550 (87 АВ 5932); к-14935 ('Izak'); к-14808 ('Salvius'); к-14810 ('Salomon'); к-14228 ('Бер'). В обоих условиях изучения выделялись к-14808 ('Salvius', Германия) (38,2–61,8 ц/га) и к-14935 ('Izak', Чехия) (39,6–39,8 ц/га).

Ценность генотипов определяется сбором белка с площади; она варьировала в условиях юго-востока Казахстана от 6,7 ц/га у к-14994 ('Yung 492', Китай) до 81,8 ц/га у к-14810 ('Salomon', Германия) при среднем показателе в 50,0 ц/га и в условиях севера Казахстана от 2,8 ц/га у к-14941 (Местный, Румыния) до 90,9 ц/га у к-14808 ('Salvius', Германия) при среднем значении 59,1 ц/га. Близкими к максимальному уровню сбора белка с площади в условиях юго-востока были выделенные генотипы: к-14650 ('Mozart', Германия) (73,5 ц/га); к-14941 (Местный, Румыния) (73,1 ц/га); к-14851 ('Numbat', Австралия) (69,0 ц/га) и к-14610 ('AC Belmont', Канада) (68,6 ц/га). В условиях севера Казахстана сбор белка с гектара был выше в среднем на 9 ц/га у всех выделенных генотипов: к-14550 (87 АВ 5932, США) (82,3 ц/га); к-14440 (РА 8098-9033, США) (82,1 ц/га); к-14530 (ОА 504-6, Канада) (80,5 ц/га) и к-15014 ('Левша', Кемеровская обл.) (79,1 ц/га).

Кроме содержания общего протеина в зерновках голозерного овса были проанализированы отдельные фракции белка. Так, преобладающая фракция глобулинового белка была характерна как для низкопротеиновых форм (от 10,4% до 12,6%): к-14533 (Местный, Китай); к-14594 (Местный, Монголия); к-14720 ('Витус'); к-14935 ('Izak'), так и для относительно высокопротеиновых: к-14809 ('Sallust'); к-14810 ('Salomon'); к-14832 ('Lisbeth') (15,8–16,3%). К низкоглобулиновым во всех условиях изучения относится генотип к-14440 (РА 8098-9033, США) (34,4–39,1%). В условиях севера Казахстана как относительно низкоглобулиновый выделился генотип к-14610 ('AC Belmont', Канада) (38,2–26,1%). Стабильный уровень глобулина отмечен для генотипа к-14537 ('James', США) во всех условиях изучения (39,4–40,1%). К этой же группе можно отнести и образцы к-14809 ('Sallust'); к-14935 ('Izak'); к-14784 ('Тюменский голозерный'); к-14791 ('Akt').

Следующая преобладающая фракция в зерне голозерного овса – глютелиновая – варьировала по содержанию к суммарному белку от 21,9% (к-14228, 'Бер') в условиях юго-востока до 38,7% (к-14440, РА 8098-9033) в условиях севера Казахстана.

В условиях юго-востока наблюдалось преобладание содержания глобулина над глютелином для всего набора изучения, а в северных – преобладание содержания глютелина над глобулином для генотипа к-14610 ('AC Belmont', Канада) (33,7% и 26,1% соответственно) и равно-

весный баланс содержания этих фракций для образца к-14440 (РА 8098-9033, США) (38,7 и 38,8%).

Максимальная степень выраженности содержания глютенина отмечена как стабильная для изученных генотипов: к-15014 ('Левша', Кемеровская обл.); к-14440 (РА 8098-9033, США) и к-14763 ('Нја 72095 N', Финляндия).

Высокий уровень содержания глютенина характерен для к-14941 (Местный, Румыния) в условиях юго-востока и севера Казахстана, а для образцов к-14550 (87 АВ 5932, США) и к-14717 ('Пушкинский', РФ) – только для условий севера. Образцы к-14851 ('Numbat', Австралия) и к-14533 (Местный, Китай) реагировали на условия севера и юго-востока Казахстана повышением содержания глютенина в белке (табл. 2).

Основная часть набора изучения характеризовалась средним значением содержания авенина в пределах 12,2–13,4% во всех условиях изучения. Близкие к максимальным значениям по содержанию авенина имели образцы на уровне $\geq 14,0\%$ – к-14602 ('Krypton'); к-14627 ('Anderes-1'); к-14941 (Местный, Румыния). Стабильно пониженное содержание авенина было характерно для следующих образцов: к-14440 (РА 8098-9033, США) (10,5–12,6%); к-14530 (ОА 504-6, Канада) (11,1–12,6%); к-14784 ('Тюменский голозерный') (11,6–13,0%); к-14595 (Местный, Монголия) (11,4–12,4%).

Канадский образец к-14530 (ОА 504-6) отреагировал на условия выращивания снижением содержания авениновой фракции белка до 11,1–12,6% на юго-востоке и на севере Казахстана. Для генотипов к-14941 (Местный, Ру-

Таблица 2. Характеристика образцов голозерного овса образцов коллекции ВИР по содержанию глобулина, глютенина и авенина в белке в зависимости от условий выращивания в 2016 г., % к суммарному

Table 2. Characterization of naked oat accessions from the VIR collection according to the content of globulin, glutelin and avenin in protein, depending on the growing conditions in 2016, % of the total

№ по каталогу ВИР	Содержание глобулина, %		Содержание глютенина, %		Содержание авенина, %	
	юго-восток	север	юго-восток	север	юго-восток	север
14228	41,7±0,7	42,2±0,5	20,8±0,5	26,9±1,0	13,4±0,8	12,1±0,2
14345	40,2±0,9	41,9±0,6	23,5±0,9	28,1±0,5	14,0±0,3	12,2±0,6
14440	39,1±0,8	38,8±0,7	28,1±0,9	38,7±0,4	12,6±0,8	10,5±0,7
14498	40,1±0,7	–	24,2±0,8	–	12,8±0,8	–
14530	41,5±0,9	42,7±0,7	22,7±0,5	28,2±0,4	12,6±0,7	11,1±0,7
14531	40,2±0,7	41,1±0,7	24,2±0,6	29,7±0,5	13,5±0,5	12,3±0,6
14533	39,7±1,0	40,6±0,6	24,1±0,9	32,4±0,6	13,0±0,4	11,4±0,5
14537	39,6±1,0	39,4±0,5	24,0±0,9	30,6±0,5	13,9±0,3	13,3±0,2
14550	40,8±0,7	40,7±0,5	22,8±0,5	31,4±0,4	13,3±0,4	11,9±0,6
14594	41,1±0,8	40,4±0,5	26,9±0,6	32,0±0,6	13,7±0,5	12,7±0,7
14595	43,2±0,9	42,0±0,8	34,4±0,5	28,5±0,4	11,4±0,6	12,4±0,6
14602	42,0±0,7	–	31,8±0,7	–	14,3±0,3	–
14605	41,5±0,7	42,1±0,6	22,4±0,5	29,9±1,0	13,4±0,4	11,8±0,7
14610	40,8±0,7	26,1±0,5	23,4±0,9	33,7±0,8	13,2±0,4	13,2±0,3
14616	40,4±0,8	39,8±0,4	22,8±0,8	31,0±0,9	13,9±0,3	13,2±0,3
14627	39,4±1,0	40,5±0,7	29,8±0,6	29,1±0,8	14,4±0,3	13,3±0,2
14650	41,3±0,9	42,2±0,8	23,3±0,7	28,6±0,7	12,9±0,8	11,9±0,6
14683	40,4±0,7	41,9±0,6	23,2±0,9	28,9±0,6	14,2±0,3	12,4±0,6
14717	40,7±0,8	41,2±0,8	24,3±0,6	31,2±0,5	13,4±0,4	12,0±0,6
14720	40,3±0,7	40,9±0,7	23,9±0,9	30,3±0,8	13,8±0,4	12,1±0,6
14763	39,8±1,0	40,8±0,7	34,8±0,9	30,8±0,4	13,8±0,4	12,5±0,6
14784	40,6±0,8	42,2±0,9	30,5±0,5	29,5±0,7	13,0±0,4	11,6±0,4
14791	41,6±0,9	43,4±1,0	22,1±0,6	28,4±0,9	13,1±0,4	11,3±0,4

Таблица 2. Продолжение
Table 2. The end

№ по каталогу ВИР	Содержание глобулина, %		Содержание глютелина, %		Содержание авенина, %	
	юго-восток	север	юго-восток	север	юго-восток	север
14808	–	42,0±0,8	–	30,8±0,7	–	11,9±0,6
14809	41,6±0,9	41,5±0,7	22,8±0,8	29,1±0,9	13,2±0,4	12,2±0,7
14810	40,3±0,8	43,2±0,9	25,6±0,6	29,3±0,8	13,1±0,5	12,1±0,7
14832	39,5±1,0	41,2±0,8	25,3±0,5	30,7±0,7	13,4±0,4	12,3±0,6
14851	39,5±1,0	39,7±0,6	29,2±0,7	32,6±0,6	13,8±0,4	12,6±0,5
14935	41,3±0,7	41,3±0,7	23,9±0,6	29,9±0,8	13,1±0,4	12,4±0,5
14941	40,8±0,8	40,8±0,7	23,1±0,8	29,9±0,7	14,5±0,3	13,1±0,3
14960	40,9±0,8	42,0±0,8	23,8±0,5	28,7±0,5	13,8±0,5	12,5±0,6
14994	–	41,3±0,8	–	28,6±0,5	–	13,0±0,4
15014	40,4±0,7	40,0±0,7	25,6±0,8	32,2±0,8	13,2±0,6	12,3±0,5
min	39,1±1,0	26,1±0,5	20,8±0,9	26,9±1,0	11,4±0,4	10,5±0,7
max	43,2±0,9	43,4±1,0	34,8±0,5	38,7±0,4	14,5±0,3	13,3±0,4
Среднее	40,7±0,7	40,8±0,8	25,4±0,6	30,3±0,7	13,4±0,4	12,2±0,6

мыния) (13,1–15,1%) и к-15014 ('Левша', Кемеровская обл.) (12,3–16,4%) стабильно выявлено максимальное значение авенина, которое снижалось в условиях более засушливого региона.

Установлено, что содержание протеина отрицательно коррелировало с содержанием глютелина ($r = -0,66$), с содержанием глобулина и остаточного неэкстрагируемого белка ($r = -0,80$) в условиях юго-востока и положительно – с содержанием авенина ($r = +0,63$) в условиях севера Казахстана. Кроме того, отмечена отрицательная корреляция между содержанием глобулина и глютелина ($r = -0,77$)

Содержание крахмала в зерне голозерного овса

Содержание крахмала у изученных образцов колебалось от 54,7% ('Pennline 9010', США) до 60,1%. (Местный, Монголия) и 'James' (США). Максимальным содержанием крахмала выделялись образцы к-14616 ('Hull-less'), к-14228 ('Ber') и к-14595 (Местный, Монголия) в условиях двух пунктов изучения (табл. 3). В условиях юго-востока Казахстана стабильно по годам максимум содержания крахмала формировали генотипы к-14531 (ОА 504-5); к-14627 ('Anderes-1') и к-14594 (Местный, Монголия), а в отдельные годы – к-14345 ('Pennline 9010'); к-14650

Таблица 3. Характеристика образцов голозерного овса по содержанию крахмала и амилозы в зерновке в зависимости от условий выращивания в 2015–2017 гг.**Table 3. Characterization of naked oat accessions according to the content of starch and amylose in kernels, depending on the growing conditions in 2015–2017**

Место и год изучения	min, %	max, %	Среднее, %	Образцы с min значением	Образцы с max значением
Содержание крахмала в зерне, %					
юго-восток, 2015 г.	54,7	60,1	57,1	к-14594, к-14537 к-14960, к-14994	к-14345, к-14650 к-14530, к-14935, к-14345, к-14650
юго-восток, 2016 г.	54,7	59,6	57,8	к-14440, к-14627	к-14228, к-14616, к-14531
север, 2016 г.	53,3	62,1	58,7	к-14440, к-14808	к-14994, к-14960, к-14616, к-14683, к-14595, к-14228
север, 2017 г.	53,3	59,0	57,0	к-14994	к-14228, к-14610

Таблица 3. Продолжение
Table 3. The end

Место и год изучения	min, %	max, %	Среднее, %	Образцы с min значением	Образцы с max значением
Содержание амилозы в зерне, %					
юго-восток, 2015 г.	6,7	16,3	13,1	к-14960, к-14994	к-14595, к-14650, к-14610, к-14616, к-14627
юго-восток, 2016 г.	4,4	13,3	10,2	к-14791, к-14530, к-14440, к-14533, к-14809	к-14228, к-14616
юго-восток, 2017 г.	8,4	14,6	11,9	к-14994	к-14228, к-14345, к-14720, к-14791
север, 2016 г.	10,4	14,0	12,1	к-14808, к-14784	к-14228, к-14935, к-14960
север, 2017 г.	8,9	14,4	11,2	к-14440, к-14228, к-14808	к-14683, к-14791, к-14960, к-14595

(‘Mozart’); к-14530 (87 АВ 5932) и к-14935 (‘Izak’), а в условиях севера в отдельные годы изучения – к-14228 (‘Ber’); к-14994 (‘Yung 492’); к-14960 (‘Вятский голозерный’); к-14683 (‘Bullion’).

Качество крахмала определяется соотношением в нем содержания амилозы и амилопектина. В результате изучения были выделены сорта овса с максимальным содержанием амилозы в зерне и с повышенным содержанием крахмала:

- 1) к-14616 (‘Hull-less’, Китай) (15,9% амилозы и 59,8% крахмала) – юго-восток, 2016, 2015 г.;
- 2) к-14627 (‘Anderes-1’, Перу) (9,6% амилозы и 58,8% крахмала) – юго-восток, 2015 г.;
- 3) к-14650 (‘Mozart’, Германия) (16,3% амилозы и 59,6% крахмала) – юго-восток, 2015 г.;
- 4) к-14228 (‘Ber’, Беларусь) (13,3% амилозы и 59,6% крахмала) – юго-восток, 2016 г.; север, 2017 г.;
- 5) к-14791 (‘Akt’, Польша) (14,5 амилозы и 58,0% крахмала) – юго-восток, 2017 г.;
- 6) к-14960 (‘Вятский голозерный’, РФ) (14,0% амилозы и 61,9% крахмала) – север, 2016 г.

Стабильно максимальное содержание амилозы в крахмале формируется в условиях юго-востока Казахстана у образцов к-14616 (‘Hull-less’) и к-14627 (‘Anderes-1’), а к-14960 (‘Вятский голозерный’) – в условиях севера.

Содержание β-глюканов в зерне голозерного овса

Содержание β-глюканов в изученном голозерном овсе колебалось от 5,2% (Местный, Румыния) до 6,4% (РА 8098-9033, США). Ранжирование пленчатых сортов, генетических ресурсов и селекционных материалов выявило формы с высоким содержанием β-глюканов (более чем 5,0%) для следующих сортов: ‘Аламан’, ‘Никола’, ‘Пегас’, ‘Иртыш 15’, к-14638, к-11247, к-13587, к-13544, к-14836 (Abugalieva, Savin, 2013).

В условиях двух пунктов изучения по содержанию β-глюканов выделяется стабильно максимальным значением образец голозерного овса к-14440 (РА 8098-9033) (6,4–6,9%), а в юго-восточных условиях Казахстана выделились: к-14595 (Местный, Монголия) (6,0–

6,1%); к-14627 (‘Anderes-1’) (6,1–6,6%); к-14851 (‘Numbat’) (6,0–6,6%). В северных условиях общий фон β-глюканов был выше (Biel et al., 2009), чем на юге, и доходил до 6,9% за счет генотипов к-14440 (РА 8098-9033); к-14537 (‘James’); к-15014 (‘Левша’) и к-14550 (87 АВ 5932) (последний снижает количество β-глюканов до 5,3% минимально при повышении урожайности). К относительно низкоглюкановым относится образец к-14228 (‘Ber’) (в условиях юго-востока и севера) и образцы к-14594 (Местный, Монголия) (4,1%); к-14941 (Местный, Румыния) (5,2%) и к-14605 (‘Ripon’, Великобритания) (5,4%) в условиях юга-востока Казахстана (табл. 4).

Содержание масла и жирнокислотный состав в зерне голозерного овса

Содержание жира в наборе образцов голозерного овса коллекции ВИР варьировало в диапазоне от 6,0% (к-14960, ‘Вятский голозерный’) до 9,8% (к-14440, РА 8098-9033, США). Среди изученных образцов стабильно высокое содержание жира в зерне было характерно для образца к-14440 (РА 8098-9033, США) во все годы и во всех регионах изучения. В условиях юго-востока Казахстана высокое содержание жира в зерне было характерно для сорта к-14498 (‘Купон’, Великобритания). Кроме того, повышенное содержание жира было отмечено у образцов к-14602 (‘Krypton’), к-14533 (Местный, Китай), к-14784 (‘Тюменский голозерный’), в том числе и у образцов, формирующих высокий урожай зерна: к-14595 (Местный, Монголия) и к-14763 (‘Hja 72095 N’, Финляндия) (табл. 5).

Качество масла определяется по содержанию мононенасыщенных жирных кислот, таких как олеиновая кислота, которая позволяет жиру храниться дольше. В изученных образцах колебания содержания олеиновой кислоты в масле было от 26,1% (‘James’, США) до 55,8% (‘Левша’, Кемеровская обл.). Более 40,0% олеиновой кислоты было характерно для образцов из Монголии (к-14594 – 40,7%) и Канады (‘AC Baton’ – 45,9%).

Значение биологической активности жира определяется соотношением линолевой кислоты к олеиновой, которое должно приближаться к единице (табл. 6).

Таблица 4. Характеристика образцов голозерного овса по содержанию β -глюканов в зерновке в зависимости от условий выращивания в 2015–2016 гг.**Table 4.** Characterization of naked oat accessions according to the content of β -glucans in kernels, depending on the growing conditions in 2015–2016

Место и год изучения	Содержание β -глюканов в зерновке, %				
	min, %	max, %	Среднее, %	Образцы с min значением	Образцы с max значением
юго-восток, 2015 г.	5,2	6,4	5,9	к-14941, к-14228	к-14440, к-14593
юго-восток, 2016 г.	5,4	6,6	6,0	к-14605	к-14440, к-14851, к-14498, к-14627
север, 2016 г.	5,8	6,9	6,2	к-14228	к-14440, к-14537, к-5014, к-14550

Таблица 5. Характеристика образцов голозерного овса по содержанию масла в зерновке в зависимости от условий выращивания в 2015–2016 гг.**Table 5.** Characterization of naked oat accessions according to the fat content in kernels, depending on growing conditions in 2015–2016

Место и год изучения	Содержание β -глюканов в зерновке, %				
	min, %	max, %	Среднее, %	Образцы с min значением	Образцы с max значением
юго-восток, 2015 г.	6,0	9,0	7,4	к-14960, к-14537, к-14345, к-14616; к-14941	к-14440, к-14498
юго-восток, 2016 г.	6,8	9,6	7,9	к-14941, к-14616, к-14228	к-14440, к-14602, к-4498, к-14533
север, 2016 г.	7,0	9,8	8,0	к-14994, к-14627	к-14440

Таблица 6. Характеристика состава жирных кислот у образцов голозерного овса, 2015–2016 гг.**Table 6.** Characterization of the fatty acid composition in the studied naked oat accessions, 2015–2016

Жирные кислоты	min, %	max, %	Среднее, %	Образцы со значением	
				min	max
Пальмитиновая	17,0	38,1	24,1	к-14594, к-14627, к-14595	к-14530 (ОА 504-6, Canada), к-14228 (Бег, Беларусь), к-14803 (AC Baton, Canada)
Олеиновая	26,1	55,8	36,9	к-14537, к-14935	к-15014 (Левша, Россия), к-14803 (AC Baton, Canada)
Линолевая	20,5	48,8 46,1 44,6 43,7 42,5	36,2	к-14803, к-15014, к-14530	к-14935 (Izak), к-14994 (Yung 492, Китай), к-14537 (James, США), к-14941 (Местный, Румыния), к-14960 (Вятский голозерный)
Линолевая/олеиновая	0,4	1,7	1,0	к-15014, к-14537, к-14935	к-14498, к-14595, к-14602
Ненасыщенные / насыщенные	1,4	4,2	3,0	к-14228, к-14530	к-14594, к-14935

У изученных образцов соотношение линолевой/олеиновой кислоты варьировалось от 0,4 ('AC Baton', Канада) и 0,6 ('Левша', РФ) до 1,5–1,7 ('Izak', Чехия; 'James', США; 'Yung 492', Китай). Количество ненасыщенных жирных кислот у образцов голозерного овса колебалось от 58,9% ('Бег', Беларусь) до 79,7% (к-14594, Местный, Монголия). С повышенным содержанием линолевой кислоты были выделены следующие сорта: 'Izak', Чехия (48,7%); 'Yung 492', Китай (46,1%); 'James', США (44,6%); 'Salomon', Германия (44,1%); 'Вятский голозерный', РФ (42,5%); к-14941, Местный, Румыния (43,7%). Изучение образцов голозерного овса на содержание и качество жира важно для определения перспектив создания новых сортов овса для диетического использования (Peltonen-Sainio et al., 2004).

Стабильно низкое содержание жира было характерно для образцов: к-14616 ('Hull-less', Китай); к-14941 (Местный, Румыния); к-14994 ('Yung 492', Китай) (см. табл. 5).

Заключение

Изученный набор образцов коллекции голозерного овса ВИР был представлен образцами различного географического происхождения и уровня селекционной проработки. Изучение данного набора в условиях юго-востока Казахстана показало более высокие средние показатели содержания протеина в зерне по сравнению с условиями севера. По содержанию протеина в зерне были получены значения от 10,4% (к-14533, Местный, Китай) до 21,0% (к-14345, 'Pennline 9010', США). По исходным данным все изученные образцы разделились на три группы: низкобелковые (10,4–13,0%), среднебелковые (13,1–17,0%) и высокобелковые (17,1–21,0%).

Наиболее продуктивные формы характеризовались относительно высоким содержанием протеина: 'Izak' (16,8–14,4%); 'Mozart' (15,6–16,9%); 'Ripon' (11,2–15,3%); 'Левша' (15,2%); 'Billion' (17,9%); 'Витус' (16,2%); 87 АВ 5932 (16,0%). Наиболее высокий сбор белка с гектара был получен у образцов: к-14550 (87 АВ 5932, США) (82,3 ц/га); к-14440 (РА 8098-9033, США) (82,1 ц/га); к-14530 (ОА 504-6, Канада) (80,5 ц/га) и к-15014 ('Левша', Кемеровская обл.) (79,1 ц/га). В результате изучения выделены образцы с высоким и низким содержанием отдельных фракций белка (глобулина, глютелина и авенина).

У изученного набора образцов содержание крахмала варьировало от 54,7% ('Pennline 9010') до 60,1% (Местный, Монголия; 'James', США). Содержание амилозы варьировало от 4,4% (к-1453, ОА 504-6, Канада) до 16,3% (к-14595, Местный, Монголия; к-14650, 'Mozart', Германия). Стабильно максимальное содержание амилозы формировалось в условиях юго-востока Казахстана у образцов к-14616 ('Hull-less', Китай) и к-14627 ('Anders-1', Перу), а также к-14960 ('Вятский голозерный', РФ) – в условиях севера.

У образцов голозерного овса содержание β-глюканов в зерне варьировало от 5,2% (Местный, Румыния) до 6,4% (РА 8098-9033, США; 'Купон', Великобритания). В условиях двух пунктов изучения по содержанию β-глюканов выделился стабильно максимальным значением образец к-14440 (РА 8098-9033) (6,4–6,9%). В юго-восточных условиях Казахстана выделились: к-14595 (Местный, Монголия) (6,0–6,1%); к-14627 ('Anders-1') (6,1–6,6%); к-14851 ('Numbat') (6,0–6,6%).

Содержание жира в наборе голозерного овса варьировало от 6,0% ('Вятский голозерный', РФ) до 9,8% (РА 8098-9033, США). Сумма ненасыщенных жирных кислот в зерне голозерного овса составляла от 58,9% ('Бег', Беларусь) до 79,7% (к-14594, Местный, Монголия). По содержанию линолевой кислоты выделялись сорта 'Izak', Чехия (48,7%); 'Yung 492', Китай (46,1%); 'James', США (44,6%); 'Salomon', Германия (44,1%); 'Вятский голозерный', РФ (42,5%); к-14941, Румыния (43,7%).

У изученных образцов соотношение линолевой/олеиновой кислоты варьировалось от 0,4 ('AC Baton', Канада) и 0,6 ('Левша', РФ) до 1,5–1,7 ('Izak', Чехия; 'James', США; 'Yung 492', Китай), а высокое содержание олеиновой кислоты было характерно для образцов из Монголии (к-14594, Местный) (40,7%) и из Канады ('AC Baton') (45,9%).

В результате изучения для условий юго-восточных и северных регионов Казахстана выделены образцы голозерного овса с повышенными и стабильными показателями содержания протеина, крахмала, амилозы, жира, отдельных жирных кислот и β-глюканов. Весь выделенный материал будет использован в селекционных программах Республики Казахстан для создания высокоурожайных высококачественных голозерных сортов овса.

Статья подготовлена на основе образцов из коллекции ВИР в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

This publication was prepared using the accessions from the VIR collection within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

- Aalto-Kaarlehto T., Dengo K., Salovaara H. Oats for coeliacs? II. Fibre-concentrated oat bran in low-gluten baking. In: B. Mattisson, R. Lyhagen (eds). *3rd International Oat Conference, Lund, Sweden, July 4–8, 1988*. Svalöf, Sweden: Svalöf AB; 1988. p.88.
- Abugalieva A.I. Amylose content in the breeding of wheat, barley, oats and rice for grain quality. Current state and prospects for the development of genetics and breeding of grain crops in Kazakhstan (Soderzhaniye amilozy v selektsii pshenitsy, yachmenya, ovsa i risa na kachestvo zerna. Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya genetiki i selektsii zernovykh kultur v Kazakhstane). In: *Collection of scientific papers of the Institute of Plant Biology and Biotechnology, KN MES RK (Sbornik nauchnykh trudov Instituta biologii i biotekhnologii rasteniy KN MON RK)*. Almaty; 2012. p.44–51. [in Russian] (Абугалиева А.И. Содержание амилозы в селекции пшеницы, ячменя, овса и риса на качество зерна. Современное состоя-

- ние и перспективы развития генетики и селекции зерновых культур в Казахстане. В кн.: *Сборник научных трудов Института биологии и биотехнологии растений КН МОН РК*. Алматы; 2012. С.44-51).
- Abugalieva A.I. Biochemical composition of barley and oat grain in breeding. Catalogue (Biokhimicheskiy sostav zerna yachmenya i ovsa v selektsii. Katalog). Almaty; 2011b. [in Russian] (Абугалиева А.И. Биохимический состав зерна ячменя и овса в селекции. Каталог. Алматы; 2011b).
- Abugalieva A.I. The content of starch and amylose in the grain of oat varieties of Kazakhstan (Soderzhaniye krakhmala i amilozy v zerne sortov ovsa Kazakhstana). *Biotechnology. Theory and Practice*. 2011a;(2):25-31. [in Russian] (Абугалиева А.И. Содержание крахмала и амилозы в зерне сортов овса Казахстана. *Биотехнология. Теория и практика*. 2011a;(2):25-31).
- Abugalieva A.I., Azhgaliev T.B. Characteristics of the varietal gene pool of oats in Kazakhstan for the protein complex (Kharakteristika sortovogo genofonda ovsa Kazakhstana po belkovomu kompleksu). *Research, Results*. 2010a;2(046):182-186. [in Russian] (Абугалиева А.И., Ажгалиев Т.Б. Характеристика сортового генофонда овса Казахстана по белковому комплексу. *Исследования, результаты*. 2010a;2(046):182-186).
- Abugalieva A.I., Azhgaliev T.B. Testing the varietal gene pool of oats for distinctness, uniformity and stability (Testirovaniye sortovogo genofonda ovsa na otlichimost, odnorodnost i stabilnost). *Vestnik selskokhozyaystvennykh nauk Kazakhstana = Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan*. 2010b;(6):7-9. [in Russian] (Абугалиева А.И., Ажгалиев Т.Б. Тестирование сортового генофонда овса на отличимость, однородность и стабильность. *Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана*. 2010b;(6):7-9).
- Abugalieva A.I., Azhgaliev T.B. Varietal gene pool of oats in Kazakhstan: productivity and hulliness (Sortovoy genofond ovsa v Kazakhstane: produktivnost i plenchatost). *Research, Results*. 2010c;2(046):186-190. [in Russian] (Абугалиева А.И., Ажгалиев Т.Б., Сортовой генофонд овса в Казахстане: продуктивность и пленчатость. *Исследования, результаты*. 2010c;2(046):186-190).
- Abugalieva A.I., Azhgaliev T.B., Savin T.V. Characteristic of oat varietal gene pool as to productivity and quality. *Siberian Herald of Agricultural Sciences*. 2011a;9-10(222):44-51. [in Russian] (Абугалиева А.И., Ажгалиев Т.Б., Савин Т.В. Характеристика сортового генофонда овса по продуктивности и качеству. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2011a;9-10(222):44-51).
- Abugalieva A.I., Azhgaliev T.B., Savin T.V. Oat varietal genofund: oil content and quality. *Modern Problems of Science and Education*. 2012a;(1):198. [in Russian] (Абугалиева А.И., Ажгалиев Т.Б., Савин Т.В. Сортовой генофонд овса: содержание и качество жира. *Современные проблемы науки и образования*. 2012a;(1):198). URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5419> [дата обращения: 19.11.2020].
- Abugalieva A.I., Savin T.V. β -glucan content in oats grain. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2013;4(233):76-83. [in Russian] (Абугалиева А.И., Савин Т.В. Содержание β -глюкана в зерне овса. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2013;4(233):76-83).
- Abugalieva A.I., Sariev B.S., Savin T.V., Grando S., El-Haramein F. The content of β -glucan and nutritional value of varieties of oats and barley in Kazakhstan (Soderzhaniye β -glyukana i pitatel'naya tsennost sortov ovsa i yachmenya Kazakhstana). *Vestnik selskokhozyaystvennykh nauk Kazakhstana = Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan*. 2011b;(12):6-10. [in Russian] (Абугалиева А.И., Сариев Б.С., Савин Т.В., Грандо С., Эль-Хараймен Ф. Содержание β -глюкана и питательная ценность сортов овса и ячменя Казахстана. *Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана*. 2011b;(12):6-10).
- Abugalieva A.I., Zhundibaev K.K., Sariev B.S. Breeding oats for productivity and quality (Selektsiya ovsa na produktivnost i kachestvo). *Vestnik selskokhozyaystvennykh nauk Kazakhstana = Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan*. 2012b;(7):13-16. [in Russian] (Абугалиева А.И., Жундибаев К.К., Сариев Б.С. Селекция овса на продуктивность и качество. *Вестник сельскохозяйственных наук Казахстана*. 2012b;(7):13-16).
- Batalova G.A. Contemplating the problem of oats grain quality. *Agrarian Reporter of South-East*. 2009;3(3):23-25. [in Russian] (Баталова Г.А. К вопросу о качестве зерна овса. *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009;(3):23-25).
- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(3):413-418. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.009
- Frey K.J. Genetic resources of oats. In: H.L. Shands, L. Wiesner (eds). *Use of plant introductions in cultivar development Part-I, CSSA Special Publication No. 17*. Madison, WI: Crop Science Society of America; 1991. p.15-24.
- Hall M.B., Tarr A.W. Oat starch quality and relationships to other quality traits. In: R.J. Cross (ed.). *6th International Oat Conference: Proceedings, held at Lincoln University, Lincoln, NZ, 13-16 November 2000*. Canterbury, New Zealand: Lincoln University; 2000. p.25-30.
- Konurbekov M. Breeding work on oats (Selektsionnaya rabota po ovsu). In: *Scientific foundations of agricultural development in the south of Kazakhstan (Nauchnye osnovy razvitiya selskogo khozyaystva na yuge Kazakhstana)*. Almaty: Bastau; 2001. p.239-241. [in Russian] (Конурбеков М. Селекционная работа по овсу. В кн.: Научные основы развития сельского хозяйства на юге Казахстана. Алматы: Бастау; 2001. С.239-241).
- Kozlova G.Ya., Akimova O.V. Comparative assessment of the bare-grained and filmy oats varieties on main parameters of corn quality. *Agricultural Biology*. 2009;44(5):87-89. [in Russian] (Козлова Г.Я., Акимова О.В. Сравнительная оценка голозерных и пленчатых сортов овса по основным показателям качества зерна. *Сельскохозяйственная биология*. 2009;44(5):87-89).
- Kravchenko N. Varieties of barley and oats and their significance (Sorta yachmenya i ovsa i ikh znachimost). *Vestnik selskokhozyaystvennykh nauk Kazakhstana = Bulletin of Agricultural Sciences of Kazakhstan*. 2004;(7):8-9. [in Russian] (Кравченко Н. Сорта ячменя и овса и их значимость. *Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана*. 2004;(7):8-9).
- Loskutov I.G. Oat (*Avena L.*). Distribution, taxonomy, evolution and breeding value. St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena L.*). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Loskutov I.G., Chmeleva Z.V., Gubareva N.K., Khoreva V.I., Nizova G.K. Catalogue of the VIR global collection. Issue 704. Oats (Characteristics of grain samples of wild oat species in terms of the content and amino acid composition of protein and the content and fatty acid compo-

- sition of oil under the conditions of Leningrad Province. Protein formulas of oats according to the electrophoretic spectra of avenin). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Чмелева З.В., Губарева Н.К., Хорева В.И., Низова Г.К. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 704. Овес. (Характеристика зерна образцов дикорастущих видов овса по содержанию и аминокислотному составу белка и по содержанию и жирнокислотному составу масла в условиях Ленинградской области. Белковые формулы овса по электрофоретическим спектрам авенина). Санкт-Петербург: ВИР; 1999).
- Loskutov I.G., Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646eng
- Paton D. Oat starch: physical, chemical, and structural properties. In: F.H. Webster (ed.). *Oats: Chemistry and Technology*. St. Paul, Minnesota; 1986. p.93-120.
- Peltonen-Sainio P., Kirkkari A.M., Jauhianen L. Characterising strengths, weakness, opportunities and threats in producing naked oat as a novel crop for northern growing conditions. *Agricultural and Food Science*. 2004;13(1-2):212-228.
- Peterson D.M. Oat – a multifunctional grain. In: P. Peltonen-Sainio, M. Topi-Hulmi (eds). *Proceedings: 7th International Oats Conference*. Helsinki: MTT Agrifood Research Finland; 2004. p.21-26.
- Polonskiy V., Loskutov I., Sumina A. Biological role and health benefit of antioxidant compounds in cereals. *Biological Communication*. 2020;65(1):53-67. DOI: 10.21638/spbu03.2020.105
- Savin V.N., Abugaliev I.A., Abugalieva A.I. Optimization of analytical research in crop production (Optimizatsiya analiticheskikh issledovaniy v rasteniyevodstve). *Russian Agricultural Sciences*. 1998;(2):13-15. [in Russian] (Савин В.Н., Аbugалиев И.А., Аbugалиева А.И. Оптимизация аналитических исследований в растениеводстве. *Доклады РАСХН*. 1998;(2):13-15).
- Zhundibaev K.K., Sariev B.S. Breeding of oats in Kazakhstan (Seleksiya ovsa v Kazakhstane). Almaty; 2009. [in Russian] (Жундибаев К.К., Сариев Б.С. Селекция овса в Казахстане. Алматы; 2009).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Аbugалиева А.И., Лоскутов И.Г., Савин Т.В., Чудинов В.А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):9-21. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21

Abugalieva A.I., Loskutov I.G., Savin T.V., Chudinov V.A. Evaluation of naked oat accessions from the VIR collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):9-21. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-9-21>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Abugalieva A. I. <https://orcid.org/0000-0002-9219-3625>
Loskutov I.G. <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Savin T.V. <https://orcid.org/0000-0001-6740-8383>
Chudinov V.A. <https://orcid.org/0000-0002-3550-647x>

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ СОРАТНИКА И КОЛЛЕГИ

Аbugалиева Айгуль Изтелеуовна

(1959–2020)

Айгуль Изтелеуовна была большим другом и популяризатором деятельности Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). С 1980-х гг. ее связала творческая дружба с ВИР. Как биохимик А. И. Аbugалиева стала заниматься идентификацией пшеницы по запасным белкам семян с использованием метода электрофореза, разработанного академиком В. Г. Конаревым. В последующем Айгуль Изтелеуовна неоднократно посещала ВИР, принимала участие в семинарах, конференциях, в совместных научных проектах изучала генофонд диких и культурных растений из коллекции ВИР по биохимическим, технологическим и питательным свойствам зерна, устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам, фотосинтетическому потенциалу продуктивности. Она способствовала обмену рас-

сительными ресурсами между нашими странами. Благодаря ее усилиям коллекция ВИР постоянно пополнялась новым селекционным материалом казахского происхождения и результатами изучения коллекции в контрастных условиях Казахстана. За заслуги в деле пополнения, комплексного изучения и сохранения коллекции ВИР в 2012 г. профессор Айгуль Изтелеуовна Аbugалиева была награждена медалью академика Н. И. Вавилова «За особые заслуги в деле сохранения Вавиловской коллекции мировых генетических ресурсов растений».

Светлая память о неутомимой труженице, подвижнице, талантливом ученом, преданной коллеге и верном соратнике будет жить в наших сердцах.

ВИРОВЦЫ

Специфика интегративного (комплексного) действия факторов внешней среды влажных субтропиков России на сорта культуры фундука

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-22-32

УДК 634.13:631.524.85:581.1:581.4

Поступление/Received: 21.08.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



Т. Д. БЕСЕДИНА¹, А. П. БОЙКО²,
Ц. В. ТУТБЕРИДЗЕ^{1*}, Н. С. КИСЕЛЕВА¹

¹ Федеральный исследовательский центр
Субтропический научный центр
Российской академии наук,
354002 Россия, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28
* supk@vniisubtrop.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
имени Н.И. Вавилова, Адлерская опытная станция –
филиал ВИР,
354340 Россия, г. Сочи, ул. Ленина, 95
aos.vir@mail.ru

**Specific nature of the integrative (complex)
effect of environmental factors on hazelnut
cultivars in the Russian humid subtropics**

T. D. BESEDINA¹, A. P. BOYKO²*,
TS. V. TUTBERIDZE^{1*}, N. S. KISELEVA¹

¹ Subtropical Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences,
2/28 Yana Fabritsiusa St.,
Sochi 354002, Russia
* supk@vniisubtrop.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
Adler Experiment Station of VIR,
95 Lenina St.,
Sochi 354340, Russia
aos.vir@mail.ru

Фундук – ценная орехоплодная культура. Целесообразность промышленного возделывания культуры ставит задачу определения параметров агроклиматических индикаторов, имеющих амплитуду изменчивости, интенсивности и продолжительности воздействия. Агроэкологические факторы оценивали фенологическим методом, базирующимся на учете дат цветения и созревания плодов, являющихся функцией комплексного их влияния на величину урожая в многолетнем цикле.

Изменение климата актуализирует подбор адаптивных сортов для зон возделывания, где лимитирующие факторы становятся стрессовыми.

Установлена зависимость сортов фундука от климатических индикаторов: температуры и влажности воздуха, суммы осадков по фазам формирования урожая. Цветение наступает в январе и зависит от температурного фактора и влажности воздуха. На созревание плодов влияет температура воздуха и количество осадков (июль – август). Степень зависимости величины урожая сортов от погодных факторов тесная, при значениях модуля 0,86–1,0 ($p < 0,05$). Для выявления степени воздействия лимитирующих факторов предпочтительнее коэффициент детерминации (%), являющийся непосредственным показателем определения зависимости величины урожая от погодных факторов. «Критическим» этапом онтогенеза фундука считается цветение (I–III) в непрогнозируемых условиях. Не менее критична фаза созревания плодов, происходящая одновременно с закладкой и дифференциацией генеративных органов урожая будущего года.

Учет варьирования лимитирующих факторов в многолетнем цикле позволяет рекомендовать адаптивные сорта для возделывания в субтропиках Краснодарского края: 'Черкесский-2', 'Анастасия', 'Кристина', 'Виктория'.

Ключевые слова: орехоплодная культура, генотип, агроклиматические индикаторы, фаза «цветение», фаза «созревание плодов».

Corylus pontica K. Koch is a valuable nut crop. The expediency of the crop's large-scale cultivation calls for measuring the parameters of agroclimatic indicators, ranging in variability, intensity, and duration of their impact.

Environmental factors were assessed using phenological techniques based on recording the flowering and fruiting dates, recognized as the function demonstrating the complex effect of these factors on the hazelnut yield throughout the crop's perennial cycle. Climate change urges the selection of adaptable cultivars for such areas where limiting factors are turning into stressors.

Dependence of hazel cultivars on climate indicators (air temperature and humidity, and total precipitation) was observed in the phases of harvest formation. The crop's genotypic diversity contributed to the specific nature of the complex effect produced by environmental factors. Peculiar responses of hazel plants to weather conditions in both flowering and fruiting phases were instigated by the biology of their development. Flowering started in January and depended on air temperature and humidity. Fruiting was affected by air temperatures and precipitation amounts (in July/August). Dependencies between yield and weather were well expressed, with module values of 0.86–1.0 ($p < 0.05$). The effect size of limiting factors is better measured with the coefficient of determination (%), a direct indicator of the correlations between harvest and weather factors. Flowering (I–III) under unpredictable conditions is regarded as a "critical" stage in the ontogenesis of hazel trees. No less critical is the fruiting phase, occurring simultaneously with the setting and differentiation of generative organs for the next year's yield.

Registration of limiting factors and their variations over the perennial plant cycle made it possible to recommend cvs. 'Cherkesskiy-2', 'Anastasiya', 'Kristina' and 'Viktoriya' as adaptable to the subtropics of Krasnodar Territory.

Key words: nut crop, genotype, agroclimatic indicators, flowering phase, fruiting phase.

Введение

Ограниченность растений в поддержке стабильно-го уровня метаболизма в варьирующих условиях среды обуславливает существенную зависимость продуктивности культивируемых видов от почвенных и погодных факторов. При оценке использования адаптивного потенциала возделываемых культур необходимо учитывать их избирательную зависимость от погодных факторов, воздействующих всем своим комплексом. К тому же в течение вегетации изменяются требования культур к условиям окружающей среды. В природных условиях оптимальное соотношение факторов среды встречается крайне редко. Постоянное действие лимитирующих факторов, включая и световые, определило климатическую сезонность и ритмичность биологических процессов в биоценозах. Изменение климата в локальных и планетарных масштабах актуализирует подбор адаптивных сортов для каждой из зон возделывания, где все чаще лимитирующие факторы становятся стрессовыми. Целесообразность возделывания той или иной культуры ставит задачу определения параметров агроклиматических факторов, имеющих амплитуду изменчивости, интенсивности и продолжительности воздействия.

Фундук (*Corylus pontica* K. Koch.) – ценная орехоплодная культура. В его ядре содержится до 70% жира, 15–16% белка, значительное количество витаминов, углеводов и минеральных солей. Растение фундука относят к тепло- и влаголюбивым культурам (Vorontsov et al., 1981); оно приспособилось к сменам тепла и холода в субтропиках Черного и Средиземного морей (FAO-STAT..., 2019; Hazelnut Report..., 2018).

«Критическим» этапом онтогенеза фундука считается цветение, протекающее с января по март, когда особенно высока вариабельность совершенно непрогнозируемых погодных условий. Не менее критична фаза «созревание плодов», проходящая почти одновременно с закладкой и дифференциацией генеративных органов урожая будущего года.

Высокая инертность сортового состава культуры, его селекционное разнообразие, длительная монокультура, рыночная ориентация, сокращение земельных ресурсов и изменение климата актуализируют оценку образцов народной селекции и нового поколения для промышленного возделывания на основе математического моделирования в системе «погода – урожай».

Методы исследований

Эффективность возделывания многолетней культуры фундука (до 50 лет) существенно зависит от почвенно-климатических факторов зон возделывания (Adamen, Sidorenko, 2017; Bayramova, Sultanov, 2017; Kozlovskaya, Yarmolich, 2018; Kosenko, Balabak, 2017; Makhno et al., 2014a, 2015; Kazaliev et al., 2007; Pchikhachev, 2013). Оценка агроэкологических факторов проведена фенологическим методом, базирующимся на учете дат цветения и созревания плодов, являющихся функцией влияния их комплексного воздействия на величину урожая в многолетнем цикле (Zhuchenko, 2009–2011). На основе анализа влияния агроклиматических условий на величину урожая сортов фундука разработаны количественные модели в системе «погода – урожай». Установлена избирательная зависимость сортов от климатических индикаторов: температуры и влажности воздуха, суммы осадков

(Besedina et al., 2019). Погодные условия для культуры в фазу цветения (в зимне-весенний период) характеризуются следующими показателями:

- среднесуточной температурой воздуха в начале цветения женского цветка, °C;
- относительной влажностью воздуха (%) в начале цветения женских цветков;
- суммой положительных температур (> 0°C) до начала цветения женских цветков;
- среднесуточной температурой воздуха в день начала созревания орехов, °C;
- суммой осадков, выпавших в июле, мм;
- суммой осадков, выпавших в августе, мм.

Критерии продуктивного потенциала сортов раскрыты с помощью программ Statistica 10 и Statgraphics 16. Данные погодных условий взяты из отчетов Сочинской агроклиматической станции и данных на сайте <http://www.pogodaiklimat.ru/> (Weather and climate..., 2004–2020). Сорта фундука нового поколения, выведенные в ФИЦ СНИЦ РАН (Федеральный исследовательский центр Субтропический научный центр Российской академии наук), находятся в промышленных садах и частных посадках, контролем служил сорт народной селекции 'Черкесский-2' (Makhno et al., 2014b).

Результаты исследований

Управлять продукционным потенциалом фундука в условиях влажных субтропиков необходимо выделением лимитирующих факторов среды, недостаток и избыток которых оказывает наибольшее влияние на продуктивность культуры. Математическое моделирование в системе «погода – урожай» позволило определить влияние следующих погодных факторов на величину урожая сортов фундука (табл. 1).

Данные таблицы 1 свидетельствуют о специфике требований растений к погодным условиям влажных субтропиков как в фазе цветения, так и в период созревания плодов. Цветение наступает в январе и происходит при снижении относительной влажности воздуха. Эффективность фазы зависит от температуры и влажности воздуха (Arveladze G.A., Arveladze R.G., 2007; Semenutina, Huzhahmetova, 2019). На созревание плодов культуры влияет температура воздуха и количество осадков, выпавших в июле – августе. Следовательно, наиболее информативными признаками взаимообусловленности урожая фундука являются среднесуточная температура воздуха в начале цветения и созревания плодов, влажность воздуха в период цветения и осадки, выпавшие в июле – августе.

Степень зависимости величины урожая сортов от погодных факторов тесная, при значениях модуля 0,86–1,0 и уровне статистической значимости $p < 0,05$. Для выявления степени воздействия лимитирующих факторов предпочтительнее коэффициент детерминации, выражаемый r^2 в %, являющийся прямым и более непосредственным показателем определения зависимости величины урожая от погодных факторов (табл. 2).

Рассмотрим критические факторы погодных условий, лимитирующие величину урожая сортов.

Во влажной субтропической зоне одним из лимитирующих факторов продуктивности сортов фундука является относительная влажность воздуха в фазу цветения, начинающуюся в основном в январе. Для сортов 'Футкурами', 'Черкесский-2' и 'Чхиквис-тави' этот фактор несет отрицательное значение: 57, 26 и 21% соответственно.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции урожая сортов фундука с погодными факторами влажных субтропиков по фенологическим фазам его формирования (Сочи, коллекция ФИЦ ШЦ РАН, 1978–2010 гг.)**Table 1.** Correlation coefficients for hazelnut harvest and weather factors in humid subtropics across the phenological phases of harvest formation (Sochi, the collection of the Subtropical Scientific Center of the RAS, 1978–2010)

Сроки созревания	Сорт	Цветение			Созревание плодов		
		среднесуточная температура воздуха в день начала цветения °С	влажность воздуха, % в день начала цветения	сумма температур > 0°С с 1.01 до начала цветения	среднесуточная температура воздуха в день начала созревания, °С	осадки в мм, выпавшие в	
						июле	августе
Ранние	Галина	-0,140	0,485	0,064	-0,625	0,008	0,084
	Анастасия	-0,395	-0,118	-0,157	0,311	0,295	-0,223
	Футкурами	0,188	-0,753	0,499	0,472	0,114	0,220
	Немса	-0,596	0,864	-0,267	0,230	-0,129	-0,044
	Чхиквис-тави	-0,276	-0,454	-0,240	-0,188	0,109	0,444
Средние	Черкесский-2	-0,054	-0,508	0,249	0,112	0,082	0,392
	Президент	0,514	-0,126	0,203	-0,457	0,417	0,792
	Кристина	0,156	0,096	0,337	-0,455	0,277	0,143
	Хачапура	0,285	-0,145	0,546	-0,640	-0,127	0,437
Поздний	Виктория	0,145	0,070	0,079	-0,404	0,165	0,400

На рисунке 1 хорошо прослеживается интенсивность воздействия лимитирующего фактора на величину урожая сорта 'Футкурами' (рис. 1а) и 'Черкесский-2' (рис. 1б). С повышением влажности воздуха у сорта 'Футкурами' снижается урожай в 2,8 раза, у сорта 'Черкесский-2' – на 0,3 кг/куст.

Анализ показателей относительной влажности воздуха за 2000–2019 гг. показал, что в январе они варьируют от 58 до 100%, влияя на эффективность опыления растений фундука, особенно сорта 'Футкурами' (рис. 2).

Следующий лимитирующий фактор продуктивности сортов фундука – среднесуточная температура, которая лимитирует ее в фазу цветения, наблюдаемую у сорта 'Немса' (рис. 3). С повышением температуры воздуха урожай растений этого сорта снижается в 2 раза. Однако температура воздуха в январе (табл. 3) поднялась по сравнению с нормой с 5,8°С (Bulatova, 2004) до 6,1°С. Данные таблицы 3 свидетельствуют о значительной изменчивости показателя среднемесячной температуры в зимний период.

Проявляется лимитирующее воздействие температурного фактора на величину урожая в фазу созревания плодов у сортов 'Хачапура' и 'Галина' (41,0 и 39,1%), генотипов 'Президент', 'Кристина', 'Виктория' (20,9; 20,7; 16,3% соответственно) (см. табл. 2).

На рисунке 4а представлен характер воздействия температурного фактора в начале созревания плодов сорта 'Хачапура', где доля участия фактора равна 41%, при котором величина урожая снижается с 1,4 до 0,6 кг/куст, то есть в 2,3 раза.

Продуктивность генотипа 'Кристина' при повышении температуры воздуха в начале созревания снижается в 1,4 раза (рис. 4б).

Вместе с тем наблюдается специфика воздействия количества осадков, выпадающих в июле – августе, на величину урожая сортов культуры, так как в этот период не только созревают орехи, но и происходит закладка генеративных органов урожая следующего года. Продуктивность сорта 'Президент' существенно зависит от осадков, выпадающих в августе ($r = 0,792$).

На рисунке 5 показана интенсивность воздействия количества осадков в июле – августе на урожай сорта 'Президент' (Selyaninov, 1961). По данным экологической характеристики сортов нового поколения (Besedina, Tutberidze, 2019), установлено, что данный сорт относится к интенсивным, для которых необходима разработка сортовой агротехники, включающая режим полива во влажных субтропиках России.

Анализ осадков, выпадающих с июня по август за десятилетние периоды с 1960 по 2018 г. свидетельствует о чрезвычайной изменчивости фактора (табл. 4).

Таблица 2. Коэффициенты детерминации (%) урожая сортов фундука с погодными факторами влажных субтропиков в зависимости от фенологических фаз его формирования**Table 2.** Coefficients of determination (%) for hazelnut harvest and weather factors in humid subtropics across the phenological phases of harvest formation

Сроки созревания	Сорт	Цветение			Созревание плодов		
		среднесуточная температура воздуха в день начала цветения, °С	влажность воздуха, % в день начала цветения	сумма температур > 0°С с 1.01 до начала цветения	среднесуточная температура воздуха в день начала созревания, °С	осадки в мм, выпавшие в	
						июле	августе
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Ранние	Галина	-2,0	23,5	0,4	-39,1	0	0,7
	Анастасия	-15,6	-1,4	-2,5	9,7	8,7	-5,0
	Футкурами	3,5	-56,7	24,9	22,3	1,3	4,8
	Немса	-35,5	74,6	-7,0	5,3	-1,7	-0,2
	Чхиквис-тави	-7,6	-20,6	-5,7	-3,5	-1,2	19,7
Средние	Черкесский-2	-0,3	-25,8	6,2	1,3	0,7	15,4
	Президент	26,4	-1,6	4,1	-20,9	17,4	62,7
	Кристина	2,4	0,9	11,4	-20,7	7,7	2,0
	Хачапура	8,1	-2,1	29,8	-41,0	-1,6	19,1
Поздний	Виктория	2,1	0,5	0,6	-16,3	2,7	16,0

Таблица 3. Варьирование температурного фактора в зимний период, 1960–2019 гг.**Table 3.** Variations of the temperature factor in the winter season, 1960–2019

Периоды наблюдений	Температура воздуха, °С			Коэффициенты вариации, %		
	декабрь	январь	февраль	декабрь	январь	февраль
1960–1969	9,6	6,5	6,5	24	44	35
1970–1979	7,2	5,6	7,0	24	45	40
1980–1989	7,9	6,3	5,0	34	44	67
1990–1999	8,2	5,8	5,5	34	41	45
2000–2009	7,8	6,1	6,8	33	40	53
2010–2019	8,5	6,7	7,7	37	37	34

Примечание: норма за 1881–2019 гг. равна в декабре – 6,1°С; в январе – 6,0°С; в феврале – 8,2°С

Note: temperature norms for 1881–2019 were 6.1°C (December), 6.0°C (January), and 8.2°C (February)

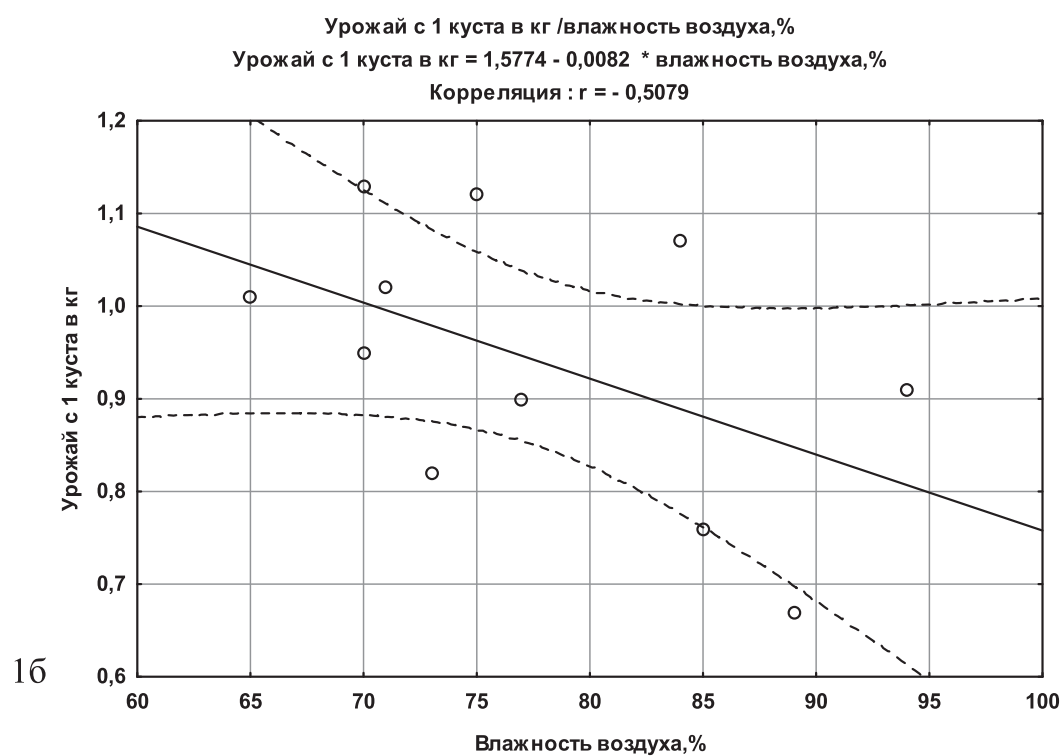
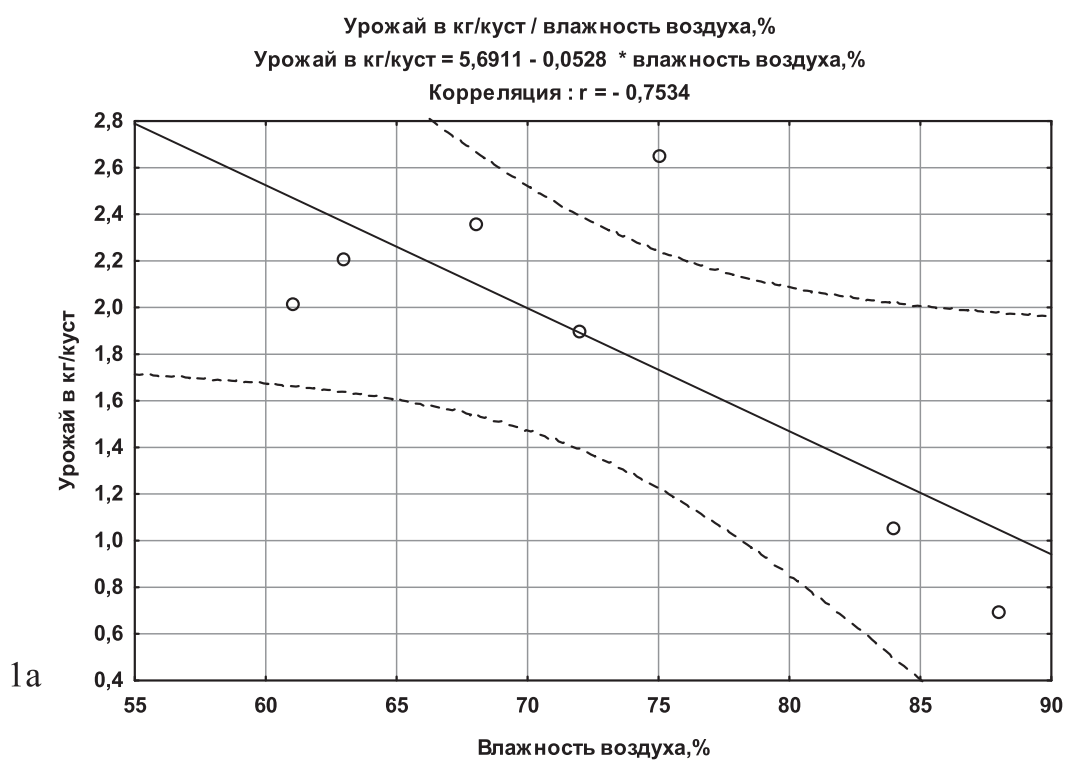


Рис. 1. Влияние относительной влажности воздуха (%) на величину урожая сортов:
 1а - 'Футкурами', 16 - 'Черкесский-2'

Fig. 1. The effect of relative air humidity (%) on hazelnut harvest size for the cultivars:
 1а - 'Futkurami'; 16 - 'Cherkesskiy-2'

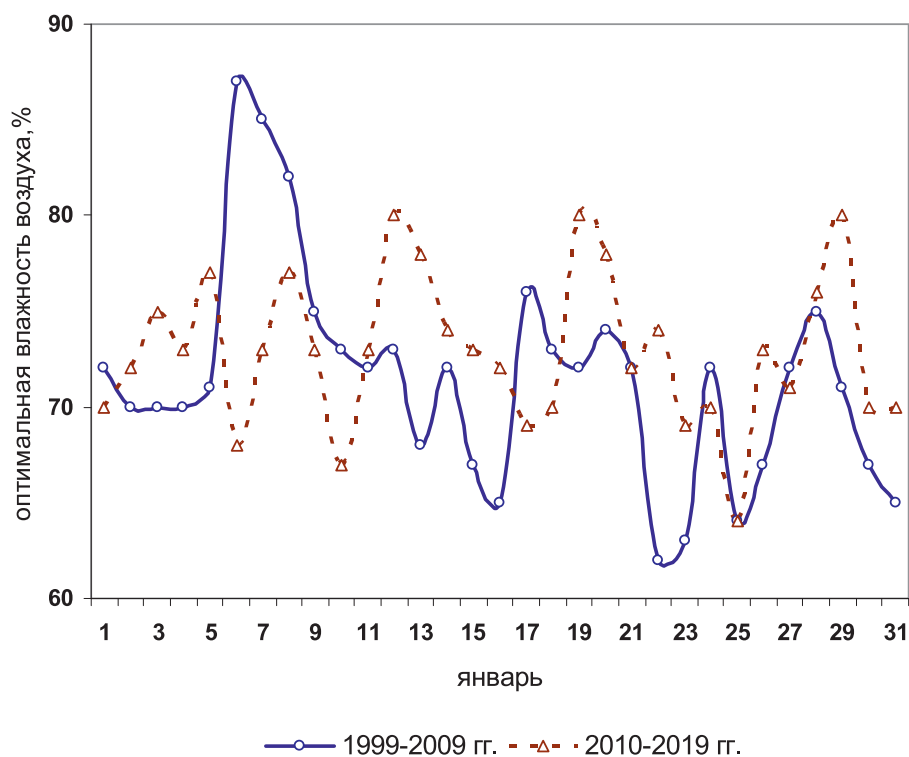


Рис. 2. Относительная влажность воздуха (%) в среднем с 1 по 31 января: 1999–2009; 2010–2019 гг.
Fig. 2. Relative air humidity (%) averaged for the period from January 1 through 31: 1999–2009; 2010–2019

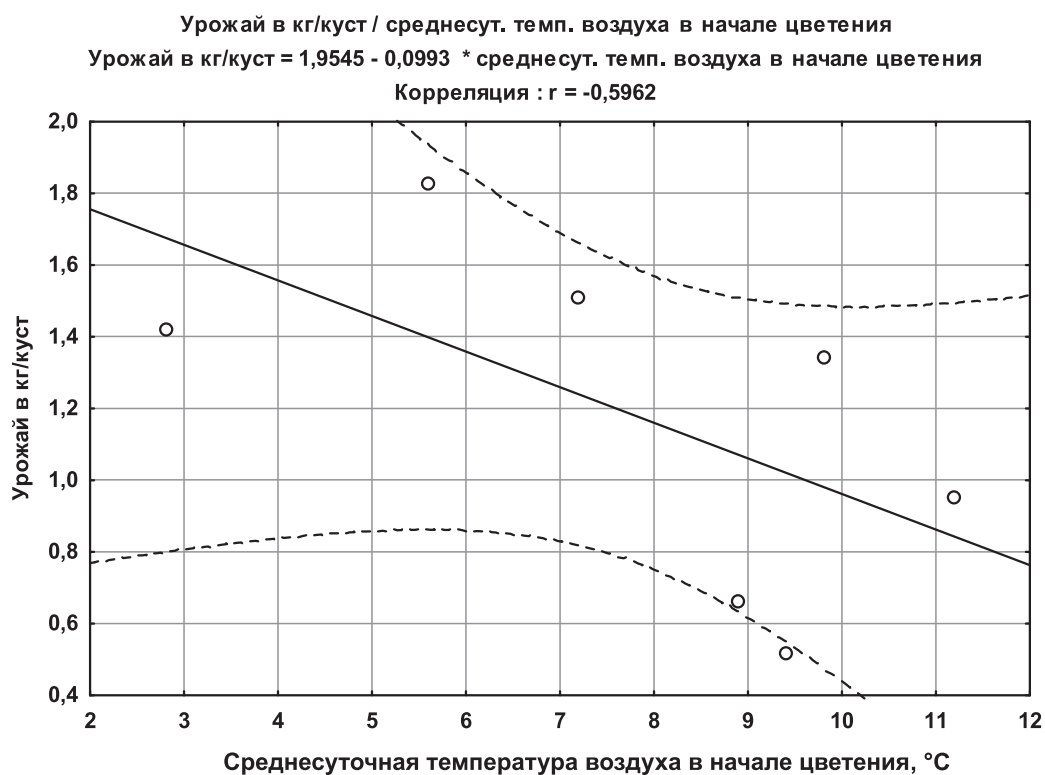


Рис. 3 Реакция сорта 'Немса' на повышение среднесуточной температуры воздуха в начале цветения
Fig. 3. The response of cv. 'Nemsa' on an increase in mean daily temperatures at the start of the flowering phase

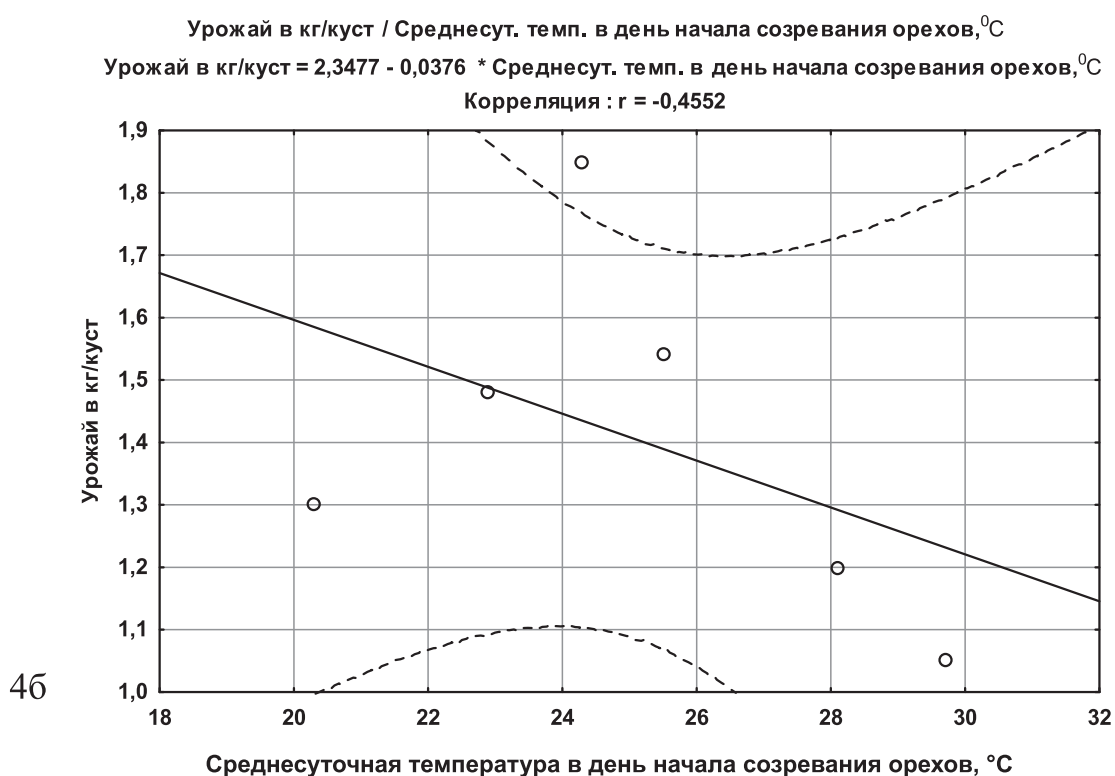
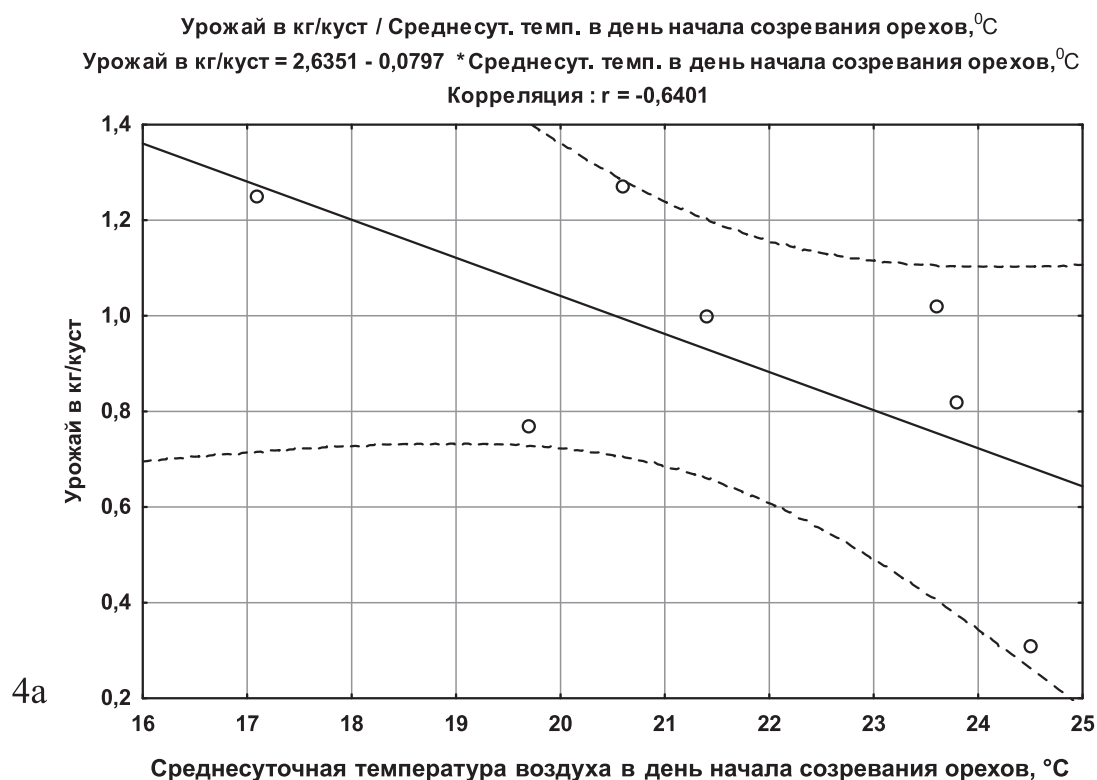


Рис. 4. Лимитирующее влияние среднесуточной температуры воздуха в начале созревания плодов сортов фундука: 4а – 'Хачапура', 4б – 'Кристина'

Fig. 4. Limiting effect of mean daily air temperatures at the start of fruit maturation for the hazel cultivars: 4а – 'Khachapura', 4б – 'Kristina'

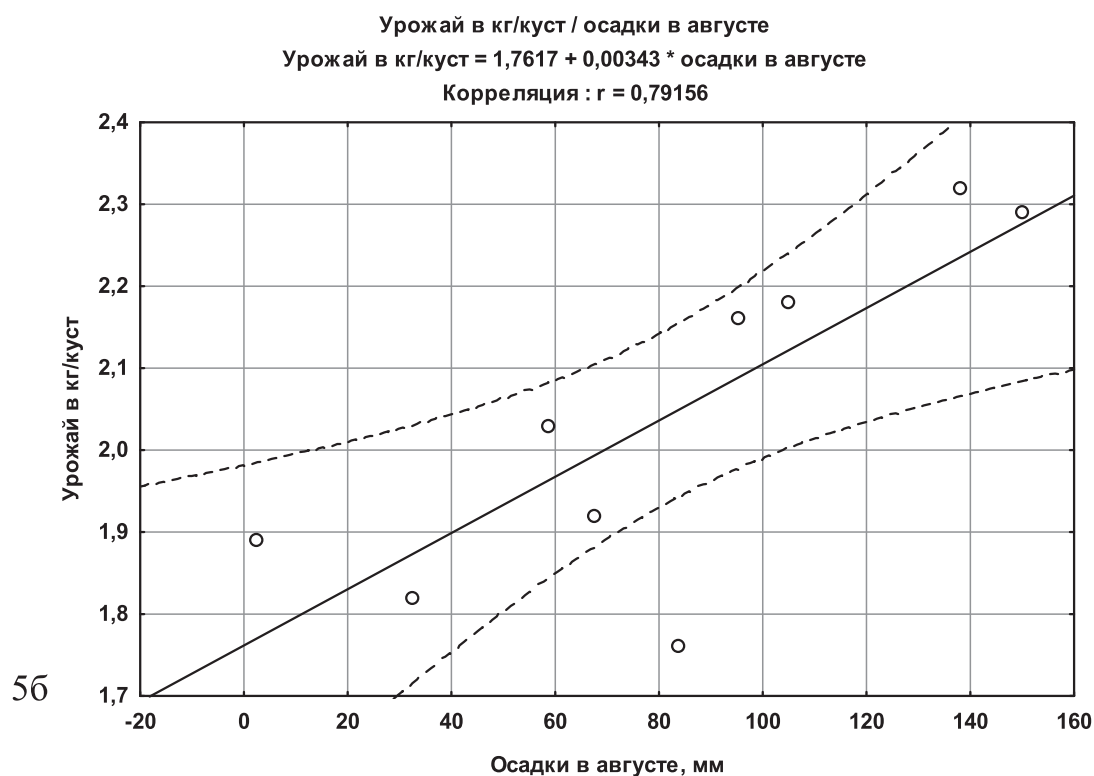
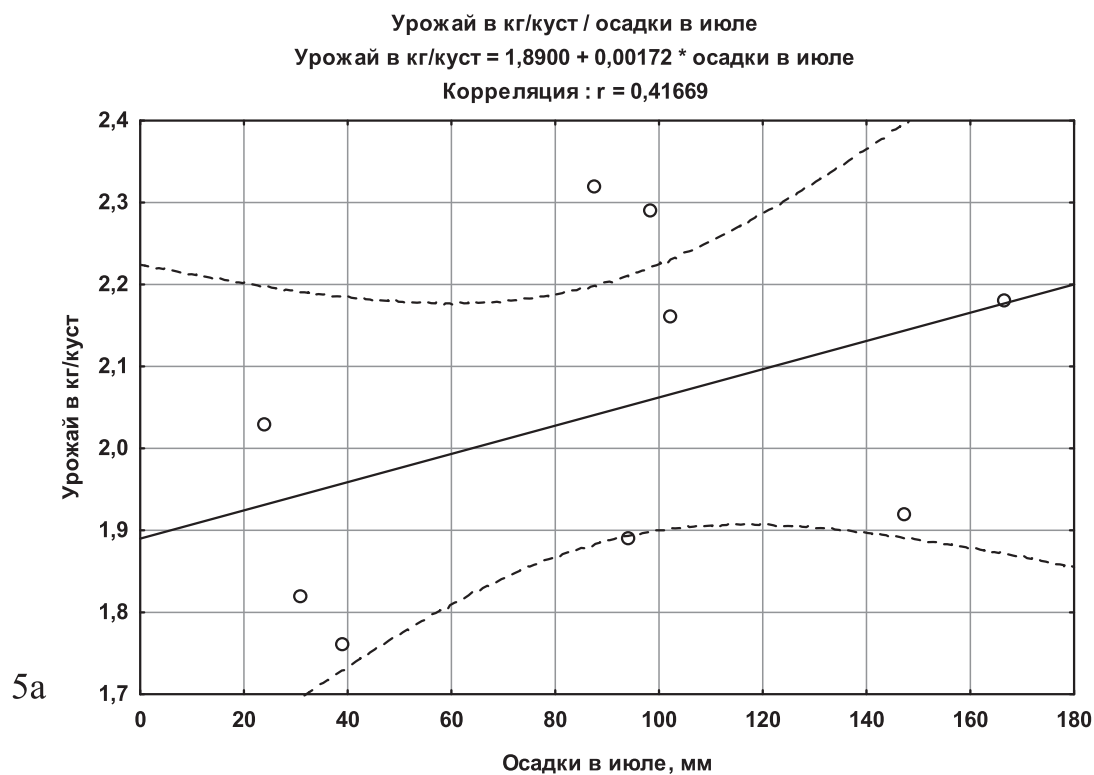


Рис. 5. Влияние осадков, выпадающих в июле (а) и августе (б), на продуктивность сорта 'Президент'
Fig. 5. The effect of the precipitation in July (a) and August (б) on the yield of cv. 'Prezident'

Таблица 4. Вариабельность осадков, выпадающих во влажных субтропиках в июне – августе, 1960–2018 гг.**Table 4. Variability of the July/August precipitation in humid subtropics, 1960–2018**

Периоды наблюдений	Сумма осадков, мм			Коэффициенты вариации, %		
	июнь	июль	август	июнь	июль	август
1960–1969	95,8	72,8	143,0	121	105	148
1970–1979	81,1	79,9	142,3	94	149	102
1980–1989	117,8	132,6	90,7	121	126	112
1990–1999	79,8	142,7	151,3	114	120	117
2000–2009	125,4	90,1	118,4	99	121	113
2010–2018	108,8	104,4	54,7	109	88	127

Аномальное варьирование суммы осадков в летний период характеризуется дефицитом влагообеспеченности культуры, что отражается на величине урожая и актуализирует режим орошения.

Выводы

Генотипическое разнообразие культуры фундука отразилось на специфике комплексного воздействия факторов внешней среды в условиях влажной субтропической зоны России.

Математическое моделирование на основе множественного корреляционно-регрессионного анализа позволило определить индикаторы внешней среды субтропиков, лимитирующие продуктивность сортов фундука: среднесуточная температура воздуха в начале цветения и созревания плодов, относительная влажность воздуха в начале цветения и осадки, выпадающие в июле – августе.

Учет варьирования лимитирующих факторов в многолетнем цикле позволяет рекомендовать адаптивные сорта для возделывания в субтропиках Краснодарского края: 'Черкесский-2', 'Анастасия', 'Кристина', 'Виктория'.

Авторы благодарят Василия Григорьевича Махно, доктора сельскохозяйственных наук за помощь.

Работа проведена в рамках темы НИР (0683-2019-0009) «Обосновать критерии оценки и разработать методы зонирования агротерриторий для эффективного использования биологических особенностей культур и природных ресурсов в производственном процессе плодовых агроценозов».

The authors express their sincere gratitude to Vasily G. Makhno, Doctor of Agricultural Sciences, for his kind assistance.

The study was accomplished within the framework of the R&D theme (0683-2019-0009) "To substantiate the criteria for assessment and develop zoning methods for agricultural areas for effective utilization of biological traits in crops and nature resources in the production process within fruit plant agroecozones".

References / Литература

- Adamen F.F., Sidorenko E.A. Hazelnut in the eastern part of the foothill Crimea. In: *Collection of articles from the proceedings of the IV International Extramural Scientific and Practical Conference "Scientific Forum: Medicine, Biology, and Chemistry (Nauchny forum: meditsina, biologiya i khimiya)"*, March 23 – April 2, 2017. Moscow: International Center of Science and Education; 2017. p.27-31. [in Russian] (Адамен Ф.Ф., Сидоренко Е.А. Фундук в условиях восточной части предгорного Крыма. В кн.: *Сборник статей по материалам IV международной заочной научно-практической конференции «Научный форум: медицина, биология и химия», 23 марта – 2 апреля 2017 г.* Москва: Международный центр науки и образования; 2017. С.27-31).
- Arveladze G.A., Arveladze R.G. Agroclimatic zoning in Georgia in the context of hazelnut cultivation (Agroklimaticheskoye rayonirovaniye Gruzii primenitelno k kulture funduka). *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*. 2007;(5):95-98. [in Russian] (Арвеладзе Г.А., Арвеладзе Р.Г. Агроклиматическое районирование Грузии применительно к культуре фундука. *Метеорология и гидрология*. 2007;(5):95-98).
- Bayramova D.B., Sultanov I.M. Productivity and quality of fruits of introduced varieties of hazelnuts. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2017;144(4):164-166. [in Russian] (Байрамова Д.Б., Султанов И.М. Урожайность и качество плодов интродуцированных сортов фундука. *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2017;144(4):164-166).
- Besedina T.D., Tutberidze Ts.V. Agroecological criterions for cultivation of hazelnuts in the humid subtropics of Russia. *Scientific Works of North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making*. 2019;25:104-113. [in Russian] (Беседина Т.Д., Тутберидзе Ц.В. Агроэкологические критерии возделывания фундука во влажных субтропиках России. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*. 2019;25:104-113). DOI: 10.30679/2587-9847-2019-25-104-113
- Besedina T.D., Tutberidze Ts.V., Toriya G.B. Agrosphere problems in hazelnut cultivation. *New Technologies*. 2019;4:89-110. [in Russian] (Беседина Т.Д., Тутберидзе Ц.В., Тория Г.Б. Проблемы агросферы в возде-

- ливании фундука. *Новые технологии*. 2019;4:89-110). DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10409
- Bulatova A.S. Introduction of filbert varieties in the region of Nizhneye Povolzhye. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*. 2004;3(3):71-72. [in Russian] (Булатова А.Ш. Интродукция сортов фундука в Нижнем Поволжье. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2004;3(3):71-72).
- FAOSTAT: Crops. 2019. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> [дата обращения: 07.08.2019].
- Hazelnut Report for 2017. Republic of Turkey Ministry of Customs and Trade, Directorate General of Cooperatives. Ankara; 2018. [in Turkish] (2017 Yili Findik Raporu. T.C. Gümrük ve ticaret bakanlığı, Kooperatifçilik genel müdürlüğü. Ankara; 2018). Available from: <http://koop.gtb.gov.tr/data/5ad06bb9ddee7dd8b423eb23/2017%20F%C4%B1nd%C4%B1k%20Raporu.pdf> [accessed Aug. 07, 2019].
- Kazaliev K.K., Mursalov M.M., Zagirov N.G. Problems of increasing the economic efficiency of nut crop production in Dagestan (case study of hazelnut) (Problemy povysheniya ekonomicheskoy effektivnosti proizvodstva orekhoplodnykh kultur v Dagestane [na primere funduka]). *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2007;(4):40-42. [in Russian] (Казалиев К.К., Мурсалов М.М., Загиров Н.Г. Проблемы повышения экономической эффективности производства орехоплодных культур в Дагестане (на примере фундука). *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2007;(4):40-42).
- Kosenko I.S., Balabak A.A. Growing new hazelnut cultivars and forms (*Corylus domestica* Kos. et Opal.) in the right-bank Ukraine (Vyrashchivaniye v pravoberezhnoy lesostepi Ukrainy sortov i form funduka [*Corylus domestica* Kos. et Opal.]). In: *Prospects of the AIC Development in Modern Conditions (Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh)*. *Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference, Vladikavkaz, April 12-14, 2017*. Vladikavkaz; 2017. p.35-37. [in Russian] (Косенко И.С., Балабак А.А. Выращивание в правобережной лесостепи Украины сортов и форм фундука (*Corylus domestica* Kos. et Opal.). В кн.: *Перспективы развития АПК в современных условиях. Материалы 7-й международной научно-практической конференции, 12-14 апреля 2017 г.* Владикавказ; 2017. С.35-37).
- Kozlovskaya Z.A., Yarmolich S.A. Nut-bearing crops in Belarus (Orekhoplodnye kultury v Belarusi). *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispolzovaniya = New and Unconventional Plants and Prospects of Their Utilization*. 2018;(13):69-73. [in Russian] (Козловская З.А., Ярмолич С.А. Орехоплодные культуры в Беларуси. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2018;(13):69-73).
- Makhno V.G., Besedina T.D., Pchikhachev E.K., Dybov A.I., Khavelov E.P. Innovative technology of hazelnut cultivation in the environments of Southern and Central Black Earth Regions: a monograph (Innovatsionnaya tekhnologiya vyrashchivaniya funduka v usloviyakh yuga i tsentralnogo Chernozemya: monografiya). Belgorod: LitKaraVan; 2014a. [in Russian] (Махно В.Г., Беседина Т.Д., Пчихачев Э.К., Дыбов А.И., Хавелов Е.П. Инновационная технология выращивания фундука в условиях юга и центрального Черноземья: монография. Белгород: ЛитКараВан; 2014а).
- Makhno V.G., Dybov A.I., Khavelov E.P. Practical fundamentals of hazelnut cultivation in the Russian Federation, Belgorod: LitKaraVan; 2015. [in Russian] (Махно В.Г., Дыбов А.И., Хавелов Е.П. Практические основы возделывания фундука в Российской Федерации, Белгород: ЛитКараВан; 2015).
- Makhno V.G., Lugovskoy A.P., Chepurnoy V.S. Catalogue of hazelnut varieties and forms (Katalog sortov i form funduka). Krasnodar; 2014b. [in Russian] (Махно В.Г., Луговской А.П., Чепурной В.С. Каталог сортов и форм фундука. Краснодар; 2014б).
- Pchikhachev E.K. Particularities of hazelnut cultivation in Northern Caucasus (Osobennosti vyrashchivaniya funduka na Severnom Kavkaze). Maikop; 2013. [in Russian] (Пчихачев Э.К. Особенности выращивания фундука на Северном Кавказе. Майкоп; 2013).
- Selyaninov G.T. Prospects of subtropical agriculture in the USSR in connection with environmental conditions (Perspektivy subtropizheskogo khozyaystva SSSR v svyazi s prirodnymi usloviyami). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1961. [in Russian] (Селянинов Г.Т. Перспективы субтропического хозяйства СССР в связи с природными условиями. Ленинград: Гидрометеиздат; 1961).
- Semenyutina A.V., Huzhahmetova A.Sh. Adaptation of cultivars in dry steppe (Adaptatsiya sortov v sukhoy stepi). In: *Present-Day State of Forestry and Green Landscaping in the Republic of Kazakhstan: Problems, Solutions, and Prospects (Sovremennoye sostoyaniya lesnogo khozyaystva i ozeleneniya v Respublike Kazakhstan: problemy, puti ikh resheniya i perspektivy)*. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Forestry Science and Production Center, Ministry of Agriculture, Republic of Kazakhstan; August 23-24, 2007, Shchuchinsk*. Almaty; 2007. p.371-373. [in Russian] (Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш. Адаптация сортов в сухой степи. В кн.: *Современное состояние лесного хозяйства и озеленения в Республике Казахстан: проблемы, пути их решения и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию организации НЦП лесного хозяйства МСХ РК; 23-24 августа 2007 г., г. Щучинск*. Алматы; 2007. С.371-373).
- Vorontsov V.V., Goletiani T.G., Gavrilov N.P., Ksenofontova D.V., Lebedeva L.V., Makhno V.G., Pritula Z.V., Khakho K.I. Technology of hazelnut cultivation in the South of the USSR. Recommendations (Tekhnologiya vozdeluyvaniya funduka na Yuge SSSR. Rekomendatsii). Sochi; 1981. [in Russian] (Воронцов В.В., Говетиани Т.Г., Гаврилов Н.П., Ксенофонтова Д.В., Лебедева Л.В., Махно В.Г., Пригула З.В., Хахо К.И. Технология возделывания фундука на Юге СССР. Рекомендации. Сочи; 1981).
- Weather and climate. Reference and information portal (Pogoda i klimat. Spravochno-informatsionny portal). 2004-2020. [in Russian] (Погода и климат. Справочно-информационный портал. 2004-2020). URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> [дата обращения: 11.06.2019].
- Zhuchenko A.A. Adaptation strategy for sustainable development of agriculture in Russia in the 21st century (ecogeographic principles). Theory and practice: in 2 volumes. Vol. II (Adaptivnaya strategiya ustoychivogo razvitiya selskogo khozyaystva Rossii v XXI stoletii [ekologogeneticheskiye osnovy]. Teoriya i praktika: v 2 t. T. II). Moscow: Agorus; 2009-2011. [in Russian] (Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии (экологогенетические основы). Теория и практика: в 2 т. Т. II. Москва: Агрус; 2009-2011).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Беседина Т.Д., Бойко А.П., Тутберидзе Ц.В., Киселева Н.С. Специфика интегративного (комплексного) действия факторов внешней среды влажных субтропиков России на сорта культуры фундука. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):22-32. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-22-32

Besedina T.D., Boyko A.P., Tutberidze Ts.V., Kiseleva N.S. Specific nature of the integrative (complex) effect of environmental factors on hazelnut cultivars in the Russian humid subtropics. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):22-32. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-22-32

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-22-32>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Besedina T.D. <https://orcid.org/0000-0001-5587-749X>

Boyko A.P. <https://orcid.org/0000-0002-1510-8546>

Tutberidze Ts.V. <https://orcid.org/0000-0002-1486-0787>

Kiseleva N.S. <https://orcid.org/0000-0001-8655-6381>

Изучение потенциальной зимостойкости сортообразцов и генотипов озимой мягкой пшеницы с помощью анализа автофлуоресценции тканей проростков

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-33-40

УДК 633.111.1: 57.045

Поступление/Received: 15.03.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

И. В. КАРХАРДИН¹, А. А. КОНОВАЛОВ^{2*},
Н. П. ГОНЧАРОВ^{1, 2}¹ Новосибирский государственный аграрный университет,
630039 Россия, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160² Федеральный исследовательский центр
Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения РАН,
630090 Россия, г. Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, 10* [✉ konov@bionet.nsc.ru](mailto:konov@bionet.nsc.ru)

Assessment of potential winter hardiness in winter bread wheat cultivars and genotypes by analyzing autofluorescence in seedling tissues

I. V. KARKHARDIN¹, A. A. KONOVALOV²,
N. P. GONCHAROV^{1, 2}¹ Novosibirsk State Agrarian University,
160 Dobrolyubova St.,
Novosibirsk 630039, Russia² Institute of Cytology and Genetics,
Siberian Branch of the RAS,
10 Lavrentyeva Ave.,
Novosibirsk 630090, Russia* [✉ konov@bionet.nsc.ru](mailto:konov@bionet.nsc.ru)

Актуальность. Озимые посевы зерновых культур являются наиболее продуктивным компонентом агроценозов. В РФ наибольшие потери озимой пшеницы происходят в зимний период, поэтому поиск признаков, маркирующих высокую/низкую зимостойкость озимых генотипов растений, в том числе селекционных образцов, необходим для оценки их потенциальной зимостойкости. Одним из таких признаков, маркирующих высокую зимостойкость, является повышенное содержание лигнина в тканях растений. Терминальным ферментом фенилпропановидного пути метаболизма, в котором образуются компоненты лигнина, является дегидрогеназа коричневого спирта – CAD (cinnamyl-alcohol dehydrogenase, EC 1.1.1.195). Фермент CAD является одним из ферментов ароматического метаболизма растений, приводящего к формированию, кроме лигнина, ряда других ароматических веществ – лигнанов, ароматических гликозидов и т. д. Многие из этих веществ, как и лигнин, имеют хромофорные группы и способны к автофлуоресценции.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования использовали сорта озимой мягкой пшеницы 'Zitnica' (Югославия) и 'Новосибирская 9' (ИЦиГ СО РАН, Россия), контрастные по зимостойкости и по изоферментным спектрам CAD, их гибриды и 28 озимых сортов краснодарской селекции. Также проведен анализ флуоресценции 28 сортов озимой пшеницы. По результатам анализа семи наиболее контрастных сортов вычислены коэффициенты корреляции между флуоресценцией и устойчивостью к промораживанию.

Заключение. Показана связь генотипов озимой мягкой пшеницы по CAD1-F с успешной перезимовкой: обнаружена корреляция генотипов с аллелем 00 CAD1-F с более высоким процентом перезимовавших растений. Анализ флуоресценции срезов проростков также может быть использован для предварительной оценки селекционных образцов по зимостойкости. Это, несомненно, может упростить трудоемкий анализ определения зимостойкости в лабораторных исследованиях.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, конфокальная микроскопия, CAD (дегидрогеназа коричневого спирта).

Background. Winter crops are the most productive component of agricultural biocenoses. In Russia, winter wheat suffers the greatest losses in winter, so a search for traits marking high or low winter hardiness in autumn-sown genotypes, including improved cultivars, is needed to assess their potential for overwintering. One of such markers of high winter hardiness is an increased lignin content in plant tissues. The terminal enzyme in the phenylpropanoid pathway of metabolism, wherein lignin components are formed, is cinnamyl-alcohol dehydrogenase (CAD, EC 1.1.1.195). In plants, the CAD enzyme is one of the links in the aromatic metabolism, which generates, in addition to lignin, a number of aromatic compounds, such as lignans, aromatic glycosides, etc. Many of these compounds, like lignin, contain chromophore groups and are capable of autofluorescence. Correlations of the genotypes that incorporate CAD1-F with overwintering are studied in this work.

Materials and methods. The winter bread wheat cultivars 'Zitnica' (Yugoslavia) and 'Novosibirskaya 9' (ICG SB RAS, Russia), contrasting in winter hardiness and CAD isozyme spectra, their hybrids, and 28 improved winter cultivars developed in Krasnodar were selected for the study. Fluorescence analysis of 28 winter wheat cultivars was also performed. Correlation coefficients between fluorescence and frost tolerance were calculated using the results of the analysis of 7 most contrasting cultivars.

Conclusions. The tested winter bread wheat genotypes demonstrated the interplay between CAD1-F and successful overwintering: a correlation was found in the genotypes carrying the 00 CAD1-F allele with higher percentage of overwintered plants. This dependence was not observed in every season. The analysis of seedling sections for fluorescence can also be used for preliminary assessment of winter tolerance in winter bread wheat under laboratory conditions.

Key words: *Triticum aestivum*, confocal microscopy, CAD (cinnamyl-alcohol dehydrogenase).

Введение

Одной из причин гибели растений озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Сибирском регионе РФ является использование в сельскохозяйственном производстве сортов, не обладающих достаточно выраженной зимостойкостью и характеризующихся низкой морозоустойчивостью, в сочетании с неустойчивостью или полным отсутствием на полях снежного покрова. В результате ранее проведенных исследований накоплен обширный материал по вопросам культивирования озимой пшеницы, который отражает агроэкологические, метеорологические, селекционные и другие аспекты (Gubanov, Ivanov, 1988). Однако не до конца исследован круг признаков растений пшеницы, способствующих их успешной перезимовке. Кроме того, актуальным является вопрос об эффективных и низкокзатратных (желательно лабораторных) методах оценки потенциальной зимостойкости озимых растений.

Повышенное содержание лигнина, как известно, увеличивает устойчивость некоторых видов озимых растений к низким температурам (Ryadnova, 1957; Kantser, 1972). Лигнин образуется в шикиматном (или фенилпропаноидном) пути метаболизма – одном из двух основных путей синтеза ароматических соединений у растений (Goodwin, Mercer, 1983a, b). Было установлено, что и другие продукты фенилпропаноидного пути, такие как лигнаны, олиго- и мономерные фенольные метаболиты (как правило, в виде гликозидов), обладают многообразным физиологическим действием, в том числе защитным (Zarometov, 1993).

Известно, что фенилпропаноидный путь метаболизма активируется холодом у самых разных видов растений, однако результаты такой активации могут быть двоякими. Во-первых, усиление при его активации процесса лигнификации клеточных стенок, то есть увеличение их механической прочности, что повышает сопротивляемость клеток разрушению при замерзании (Wei et al., 2006). Во-вторых, возможно, накопление моно- и олигомерных продуктов фенилпропаноидного пути (скорее всего, в виде гликозидов) понижает температуру замерзания клеточного сока и цитоплазмы клеток, предотвращая образование в них кристаллов льда за счет увеличения степени гелификации.

Вероятные механизмы активации экспрессии соответствующих генов и защитного действия фенольных метаболитов рассмотрены в ряде обзоров (Mouga et al., 2010; Le Gall et al., 2015).

Полиморфизм по генам ферментов, задействованным в фенилпропаноидном пути, оказывает также влияние на конечные продукты и на многие признаки, связанные с ростом и развитием растений (Kononov et al., 2015). Чаще всего исследователи обнаруживают функциональный полиморфизм по начальному ферменту фенилпропаноидного пути PAL (фенилаланин-аммиак-лиаза, phenylalanine ammonia-lyase, EC 4.3.1.24) и терминальному ферменту этого пути CAD (дегидрогеназа коричневого спирта, cinnamyl-alcohol dehydrogenase, EC 1.1.1.195). Фермент CAD является одним из ключевых ферментов ароматического метаболизма растений, приводящего к формированию ряда ароматических веществ – лигнина, лигнанов, ароматических гликозидов и т. д. Многие из этих веществ имеют хромофорные группы и способны к автофлуоресценции.

Гены устойчивости к морозу, как и CAD, локализованы в хромосомах 5-й гомологической группы мягкой

пшеницы (Toth et al., 2003) и ржи (*Secale cereale* L.) (Erath et al., 2017). Ранее нами были получены растения озимой пшеницы с различными генотипами по гену *CAD1-F*. У этих генотипов были изучены зимостойкость и флуоресценция тканей проростков с целью установления связи между этими признаками (Kononov et al., 2016). Ранее было показано, что в листьях ячменя экспрессия генов синтеза лигнина, включая CAD, повышалась под воздействием холода (Janská et al., 2011). Авторы предположили, что монолигнолы, а не лигнин, синтезировались в листе, так как гены пероксидазы, вовлеченные в синтез лигнина из монолигнолов, понижали экспрессию.

При закаливании растений озимой пшеницы сорта 'Мионовская 808' увеличивалось содержание растворимых фенольных соединений в листьях ювенильных растений на стадии 5–7 листьев; при этом содержание лигнина не менялось (Olenichenko, Zagoskina, 2005). Однако в узлах кущения наблюдалось противоположное: содержание растворимых фенольных соединений немного уменьшалось, содержание лигнина увеличивалось более чем в два раза. При этом активность фенилаланинаммиалазы (ФАЛ) в обеих тканях уменьшалась и соответственно увеличилось содержание свободного L-фенилаланина. Из этих данных видно, что динамика фенилпропаноидных метаболитов, как свободных, так и полимерных, задействована в процессе закаливания озимых генотипов, и эти процессы не обязательно сопровождаются увеличением активности ФАЛ (Olenichenko, Zagoskina, 2005). В узлах кущения и в листьях эти процессы могут иметь разнонаправленный характер.

Цель данного исследования – изучить и выделить образцы озимой мягкой пшеницы, обладающие высокой морозоустойчивостью, с использованием изоферментного анализа и метода автофлуоресценции.

Для ее достижения поставлены следующие задачи:

- определить уровень морозостойкости образцов озимой пшеницы с использованием изоферментного анализа и методом автофлуоресценции;
- оценить возможность использования данных методов оценки селекционного материала по морозостойкости озимой пшеницы.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали сорта озимой мягкой пшеницы: 'Zitnica' (к-59716, бывш. Югославия), полученный из коллекции ВИР, и 'Новосибирская 9', полученный от оригинатора сорта В. А. Козлова (ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск), контрастные по зимостойкости и по изоферментным спектрам CAD. После скрещивания растения F_1 и F_2 гибридов выращивали в вегетационных сосудах после яровизации в течение двух месяцев. Потомства F_3 -гибридов, гомозиготные по аллельным вариантам CAD (FF и 00), использовали для подзимних посевов. Одиннадцать потомств FF и 11 потомств 00 высевали под зиму в течение трех лет в 2013–2015 гг. Зимостойкость оценивали по числу перезимовавших растений от числа посеянных семян.

Кроме этого, использовали 28 озимых образцов, полученных из Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, г. Краснодар), морозоустойчивость которых предварительно определялась промораживанием при -18°C и $-19,5^{\circ}\text{C}$ и подсчетом выживших растений по стандартной методике (Kirichenko, 1969; Ivanisov, Ionova, 2016). Сортообразцы и информация об их морозоустойчивости были любезно предо-

ставлены академиком РАН Л. А. Беспаловой (НЦЗ имени П.П. Лукьяненко, г. Краснодар).

Растения выращивали по пару на полях Селекционно-генетического центра ИЦиГ СО РАН, 54°51'08" северной широты, 83°06'21" восточной долготы, высота над уровнем моря 151 м. Почвы – выщелоченный чернозем.

Изоферментный спектр CAD1 определяли с помощью электрофореза в крахмальном геле (Kogochkin et al., 1977). Флуоресценцию тканей оценивали на срезах свежих тканей толщиной 30 мкм, полученных на замораживающем микротоме Microm HM-505N (Microm, Германия) и просматривали на микроскопе Axio Imager Z1 Центра коллективного пользования микроскопического анализа биологических объектов СО РАН (г. Новосибирск).

В Химцентре СО РАН (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН) была проведена экстракция метаболитов из узла кущения (фраг-

менты размером 5 мм), полученные экстракты изучены спектроскопическими и хроматографическими методами (Kargova et al., 2019).

Математическую обработку проводили с использованием программы Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Методом электрофореза в крахмальном геле у сортов озимой мягкой пшеницы были обнаружены различия в спектрах изоферментов ароматической алкогольдегидрогеназы, НАДФ-ААДГ или CAD1 (cinnamyl-alcohol dehydrogenase, дегидрогеназа коричневого спирта; EC 1.1.1.195) (рис. 1).

Данные изучения выживаемости различных генотипов по данному изоферменту при озимом посеве представлены в таблице 1. Видим, что генотипы FF перезимовывали в среднем лучше, чем генотипы 00.

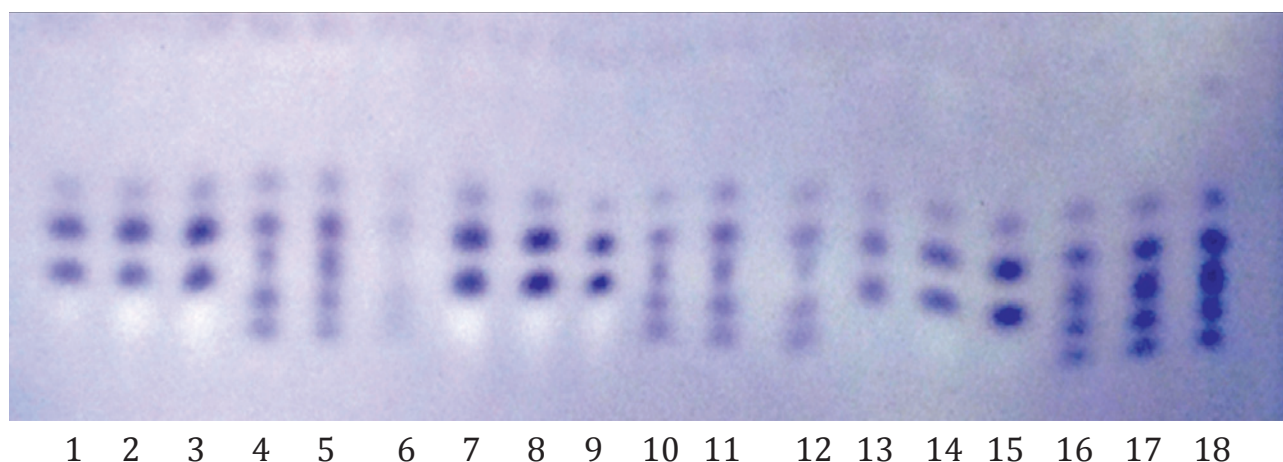


Рис. 1. Типы изоферментных спектров CAD у озимых сортов мягкой пшеницы:

треки 1–3, 7–9, 13–15 – неморозоустойчивый сорт 'Zitnica';

4–6, 10–12, 16–18 – морозоустойчивый сорт 'Новосибирская 9'

Fig. 1. Types of CAD spectra in winter wheat cultivars:

tracks 1–3, 7–9, 13–15 – non-frost-resistant cv. 'Zitnica'; 4–6, 10–12, 16–18 – frost-resistant cv. 'Novosibirskaya 9'

Таблица 1. Выживаемость растений озимой пшеницы генотипов FF и 00 после перезимовки в сезонах 2013/2014, 2014/2015 и 2015/2016 гг.

Table 1. Winter survival rate for the FF and 00 genotypes of winter wheat in the seasons of 2013/2014, 2014/2015 and 2015/2016

Сезон, г.	Генотип озимого растения пшеницы по CAD		Критерий Пирсона, χ^2
	FF	00	
2013/2014	880/552 (62,7%)*	880/369 (41,9%)	$\chi^2 = 24,01$ $P > 0,99$
2014/2015	2310/1365 (59,1%)	2310/1149 (49,7%)	$\chi^2 = 12,00$ $P > 0,99$
2015/2016	2694/1652 (61,3%)	2436/1440 (59,1%)	$\chi^2 = 0,64$ $P < 0,10$
всего	5884/3569 (60,7%)	5626/2958 (52,6%)	$\chi^2 = 21,08$ $P > 0,99$

* – в скобках – процент перезимовавших растений

* – percentage of overwintered plants (in parentheses)

Каждой весной перезимовавшие проростки брали с поля для изучения. У живых растений вырезали узел кушения, помещали в замораживающий микротом, затем срезы узлов кушения просматривали под флуоресцентным микроскопом (рис. 2). Ткани проростков генотипа FF флуоресцировали значительно сильнее, чем ткани проростков генотипа 00.

При следующем этапе работы в Химцентре СО РАН (НИОХ, г. Новосибирск) была проведена экстракция метаболитов из узла кушения (фрагменты размером 5 мм). В последующем экстракты были изучены спектроскопи-

ческими и хроматографическими методами. Были обнаружены различия по содержанию ряда метаболитов (рис. 3), которые в дальнейшем будут идентифицироваться.

Флуоресцентные методы исследования не позволяют идентифицировать конкретный метаболит, но дают общую картину содержания и локализации флуоресцирующих веществ в тканях и широко используются при изучении микроморфологии растений (рис. 4).

Ароматические гликозиды способствуют гелификации клеточного сока и замерзанию воды в аморфном со-

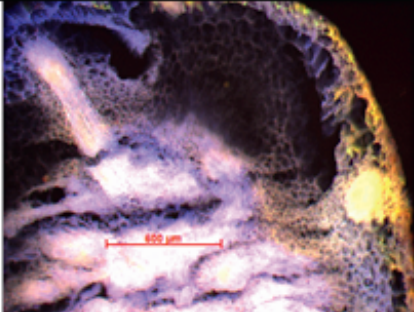
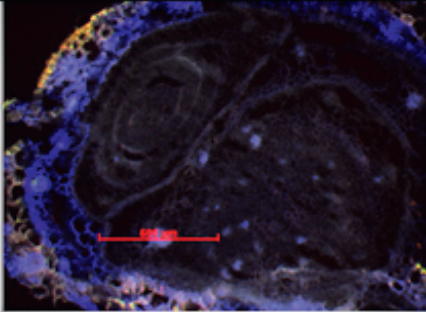
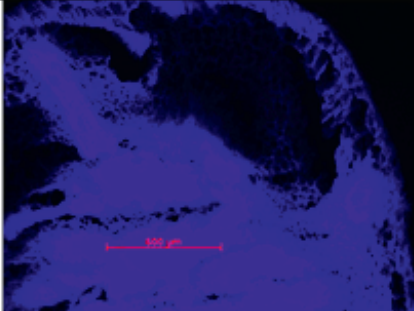
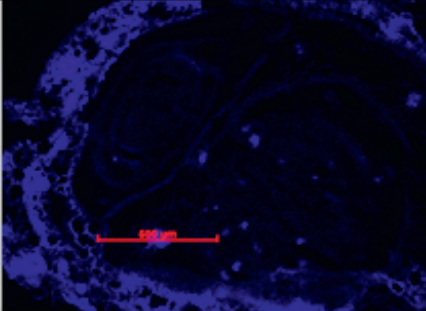
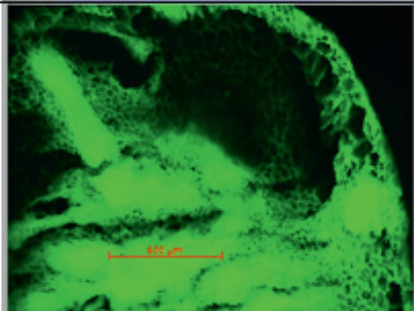
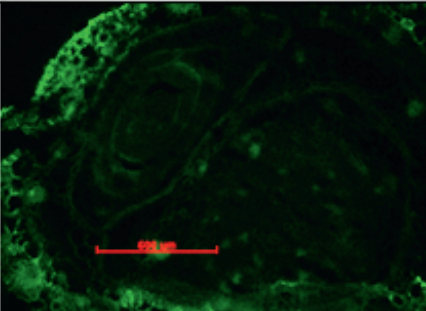
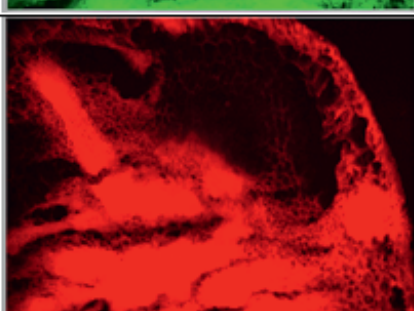
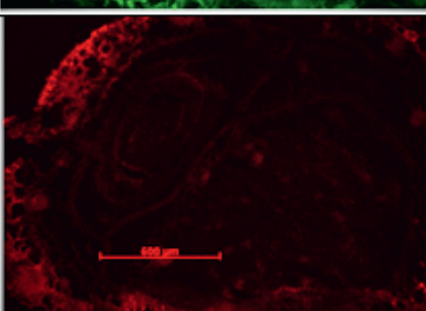
Образец с более высокой зимостойкостью, генотип FF	Образец с более низкой зимостойкостью, генотип 00	Длина волны возбуждающего излучения
		Общий спектр
		365 нм
		470 нм
		546 нм

Рис. 2. Автофлуоресценция срезов узла кушения у проростков озимой мягкой пшеницы подзимнего посева, 2013/2014 г. (линейка 600 мкм)

Fig. 2. Autofluorescence of tillering node sections in seedlings of winter bread wheat sown in late autumn, 2013/2014 (600 µm scale bar)

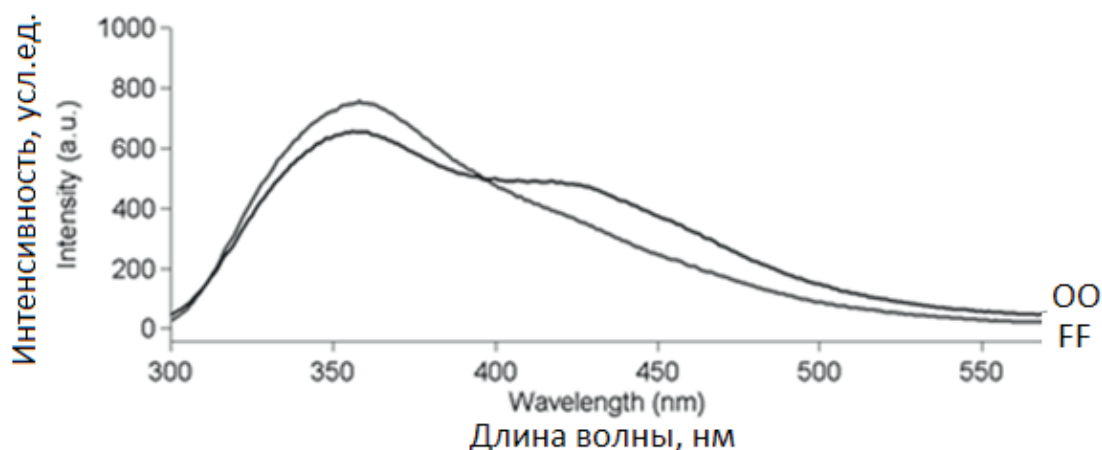


Рис. 3. Спектр флуоресценции водных экстрактов узлов кущения озимой пшеницы
Fig. 3. A graph showing fluorescence of aqueous extracts from tillering nodes of winter wheat

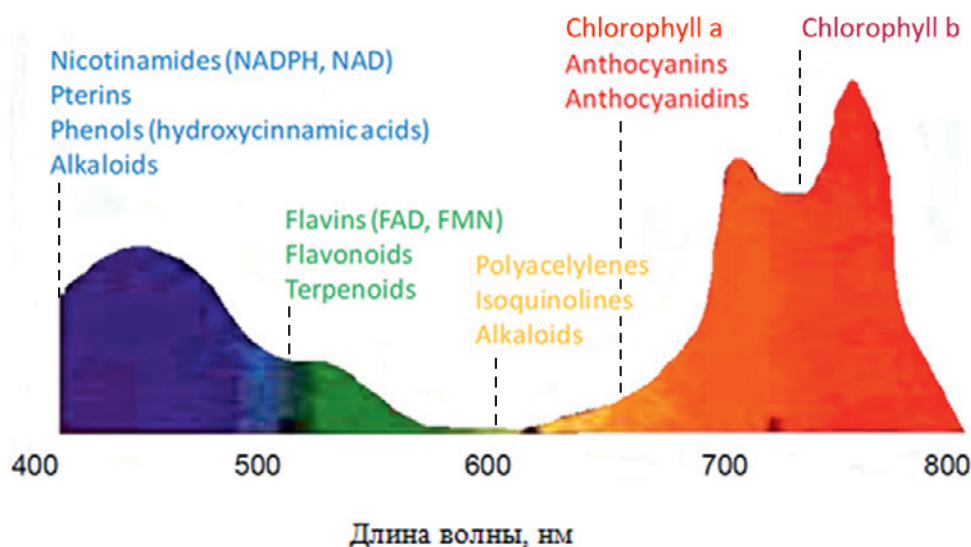


Рис. 4. Автофлуоресценция экстракта из типичного зеленого листа при возбуждении 355 нм
 (по: P. Talamond et al., 2015)

Fig. 4. Autofluorescence of the extract from a typical green leaf when excited at 355 nm
 (from: P. Talamond et al., 2015)

стоянии, без образования кристаллов льда, которые являются основным повреждающим фактором клеток растений в зимний период (Cheynier et al., 2013).

В таблице 2 представлены результаты суммарной автофлуоресценции, полученные при трех значениях возбуждающего излучения, на срезах проростков 28 сортов краснодарской селекции с определенной по стандартной методике морозоустойчивостью. При анализе результатов автофлюорографии срезов растений озимых сортов краснодарской селекции первого срока посева все корреляции были положительные. Максимальное значение 0,48 свидетельствует о корреляции средней степени. У более старших проростков (14- и 21-суточных) значения коэффициентов корреляции в данной выборке значительно снижаются. На основании полученных результатов можно делать вывод о возможности оценки образцов по потенциальной морозоустойчивости на ранних этапах онтогенеза.

Для более детального дальнейшего анализа была взята выборка из проростков семи наиболее контраст-

ных по морозоустойчивости озимых сортов, а именно: наиболее устойчивые 'Зимница', 'Творец', 'Гром', 'Москвич'; наименее устойчивые 'Утриш', 'Ваня', 'Караван'. Были получены более контрастные результаты (табл. 3). В этом случае можно было выделить группу наиболее морозостойких растений не только при анализе 7-суточных проростков, но и на более поздних стадиях их развития. Корреляции были средней силы (0,4–0,5) и выше. Это позволит в дальнейшем использовать их как дополнительные показатели потенциальной зимостойкости у изучаемого материала.

Подчеркнем, что оценка потенциальной морозоустойчивости методом автофлуоресценции проводится в лабораторных условиях, используются двух-, четырех-недельные проростки. Это позволяет ускорить процесс отбора, так как при стандартных методах отбор образцов проводят на более поздних фазах развития растений. У проростков готовят срезы узла кущения и оценивают потенциальную зимостойкость по интенсивности флуоресценции тканей, измеренной на флуоресцентном мик-

Таблица 2. Значения коэффициентов корреляции между морозоустойчивостью 28 сортов озимой пшеницы и автофлуоресценцией срезов проростков, выдержанных в холодильнике**Table 2.** Correlations between frost resistance in 28 winter wheat cultivars and autofluorescence of seedling sections kept in a refrigerator

Температура промораживания	Возраст проростков								
	7 суток			14 суток			21 сутки		
	365*	470*	546*	365*	470*	546*	365*	470*	546*
-18°C	0,30	0,28	0,08	0,00	0,24	0,18	0,19	0,05	0,28
-19,5°C	0,31	0,48	0,29	0,17	0,17	0,12	0,02	0,05	0,22

* – возбуждающее излучение (нм)

* – excitatory radiation (nm)

Таблица 3. Корреляции между морозоустойчивостью и автофлуоресценцией срезов проростков у семи наиболее контрастных по данному признаку сортов озимой пшеницы при возбуждающем излучении (365, 470 и 546 нм)**Table 3.** Correlations between frost resistance and autofluorescence in seedlings of seven most contrasting winter wheat cultivars under excitatory radiation (365, 470 and 546 nm)

Температура промораживания	Возраст проростков								
	7 суток			14 суток			21 сутки		
	365*	470*	546*	365*	470*	546*	365*	470*	546*
-18°C	0,27	0,42	0,10	0,81	0,23	0,07	0,01	0,05	0,51
-19,5°C	0,12	0,48	0,01	0,80	0,30	0,09	0,03	0,01	0,49

Примечание: морозоустойчивость семи сортов при -18°C: 'Зимница' (93%), 'Творец' (95%), 'Гром' (92%), 'Москвич' (93%), 'Утриш' (37%), 'Ваня' (34%) и 'Караван' (5%); при -19,5°C: 74%, 86%, 61%, 78%, 19%, 12% и 0% соответственно

Note: frost resistance of seven cultivars at -18°C: 'Zimnica' (93%), 'Tvoret's' (95%), 'Grom' (92%), 'Moskvich' (93%), 'Utrish' (37%), 'Vanya' (34%) and 'Karavan' (5%); at -19.5°C: 74%, 86%, 61%, 78%, 19%, 12% and 0%, respectively

роскопе при длине волн 365, 470 и 546 нм. При этом в качестве потенциально зимостойких отбирают образцы с повышенной флуоресценцией, что позволяет значительно упростить и ускорить процесс селекции на морозоустойчивость за счет сокращения времени получения оценки, значительного уменьшения трудоемкости анализов и сокращения объемов анализируемых выборок растений.

Заключение

Из полученных результатов следует, что растения озимой мягкой пшеницы с разными типами изоферментных спектров CAD1 (cinnamyl-alcohol dehydrogenase, EC 1.1.1.195) различаются по проценту перезимовавших растений, при этом растения с генотипом FF перезимовывают значительно лучше, чем с генотипом 00. Сделано предположение о том, что полиморфизм по ферменту CAD влияет на содержание флуоресцирующих метаболитов в узлах кушения озимых растений, что в свою очередь увеличивает их зимостойкость.

Генотипы с более высокой зимостойкостью имеют более интенсивную автофлуоресценцию тканей у проростков на срезах узла кушения после холодовой предобработки.

Данный метод можно использовать для оценки селектируемого материала с повышенной потенциальной зимостойкостью на ранних этапах его селекционной проработки.

Работа поддержана бюджетным проектом № 0259-2021-0012.

Авторы благодарят С. И. Байбородина (ИЦИГ СО РАН), И. К. Шундрину и Е. В. Карпову (НПОХ СО РАН) за помощь при проведении исследований и академика РАН Л. А. Беспалову (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, г. Краснодар) за предоставление сортов озимой мягкой пшеницы и информацию о морозостойкости пшениц краснодарской селекции.

The research was supported by Budgetary Project No. 0259-2021-0012.

The authors are grateful to S. I. Bayborodin (Institute of Cytology and Genetics, SB RAS), I. K. Shundrina and E. V. Karpova (Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, SB RAS) for their assistance in the research, and to Acad. L. A. Besspalova (P.P. Lukyanenko National Grain Center, Krasnodar) for making available winter bread wheat cultivars and information about their frost tolerance.

References / Литература

- Cheyrier V., Comte G., Davies K.M., Lattanzio V., Martens S. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013;72:1-20. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.05.009
- Goodwin T.W., Mercer E.I. Introduction to Plant Biochemistry. Vol. 1. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press; 1983a.
- Goodwin T.W., Mercer E.I. Introduction to Plant Biochemistry. Vol. 2. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press; 1983b.
- Gubanov Y.V., Ivanov N.N. Winter wheat (Ozimaya pshenitsa). Moscow: Agropromizdat; 1988. [in Russian] (Губанов Я.В., Иванов Н.Н. Озимая пшеница. Москва: Агропромиздат; 1988).
- Erath W., Bauer E., Fowler D.B., Gordillo A., Korzun V., Ponomareva M. et al. Exploring new alleles for frost tolerance in winter rye. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017;130(10):2151-2164. DOI: 10.1007/s00122-017-2948-7
- Ivanisov M.M., Ionova E.V. Frost tolerance of the varieties and lines of soft winter wheat. *International Research Journal*. 2016;9(51) (Pt 3):110-113. [in Russian] (Иванисов М.М., Ионова Е.В. Морозостойкость сортов и линий озимой мягкой пшеницы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;9(51) (ч. 3):110-113). DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.115
- Janská A., Aprile A., Zámečník J., Cattivelli L., Ovesná J. Transcriptional responses of winter barley to cold indicate nucleosome remodeling as a specific feature of crown tissues. *Functional and Integrative Genomics*. 2011;11(2):307-325. DOI: 10.1007/s10142-011-0213-8
- Kantser A.N. Dynamics of lignin content and frost resistance in woody plants (Dinamika soderzhaniya lignina i morozostoykost drevesnykh rasteniy). *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy = Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*. 1972;4(1):92-95. [in Russian] (Канцер А.Н. Динамика содержания лигнина и морозостойкость древесных растений. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1972;4(1):92-95).
- Karpova Ye.V., Shundrina I.K., Orlova Ye.A., Konovalov A.A. Aromatic and mineral substances in the tissues of the samples of spring common wheat *Triticum aestivum* L., differing in resistance to brown rust (pathogen *Puccinia triticina* Erikss.). *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2019;4(4):87-95. [in Russian] (Карпова Е.В., Шундрин И.К., Орлова Е.А., Коновалов А.А. Ароматические и минеральные вещества в тканях образцов яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., различающихся по устойчивости к бурой ржавчине (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.). *Химия растительного сырья*. 2019;4(4):87-95). DOI: 10.14258/jcprm.2019045238
- Kirichenko F.G. Detection of frost resistance in winter crops by the method of direct freezing in sowing boxes (Opredeleniye morozostoykosti ozimyykh kultur metodom pryamogo promorazhivaniya v posevnykh yashchikakh). In: *Methods for Determining Frost Tolerance and Winter Hardiness in Winter Crops (Metody opredeleniya morozostoykosti ozimyykh kultur)*. Moscow; 1969. p.3-8. [in Russian] (Кириченко Ф.Г. Определение морозостойкости озимых культур методом прямого промораживания в посевных ящиках. В кн.: *Методы определения морозо- и зимостойкости озимых культур*. Москва; 1969. С.3-8).
- Konovalov A.A., Shundrina I.K., Karpova E.V. Polymorphism of lignification enzymes in plants: Functional importance and applied aspects. *Biology Bulletin Reviews*. 2016;6(2):149-163. DOI: 10.1134/S2079086416020031
- Konovalov A.A., Shundrina I.K., Karpova E.V., Goncharov N.P., Kondratenko E.Ya. Chromosomal localization of aromatic alcohol dehydrogenase fast-migrating isoenzyme *AAdh1F* (*CAD1F*) gene in *Triticum aestivum* L. bread wheat. *Russian Journal of Genetics*. 2016;52(10):1110-1116. DOI: 10.1134/S1022795416080056
- Korochkin L.I., Serov O.L., Pudovkin A.I., Aronshtam A.A., Borkin L.Ya. Genetics of isoenzymes (Genetika izofermentov). D.K. Belyaev (ed.). Moscow: Nauka; 1977. [in Russian] (Корочкин Л.И., Серов О.Л., Пудовкин А.И., Аронштам А.А., Боркин Л.Я. Генетика изоферментов / под ред. Д.К. Беляева. Москва: Наука; 1977).
- Le Gall H., Philippe F., Domon J.M., Gillet F., Pelloux J., Rayon C. Cell wall metabolism in response to abiotic stress. *Plants*. 2015;4(1):112-166. DOI: 10.3390/plants4010112
- Moura J.C.M.S.M., Bonine C.A.V., de Oliveira Fernandes Viana J., Dornelas M.C., Mazzafera P. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2010;52(4):360-376. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2010.00892.x
- Olenichenko N.A., Zagoskina N.V. Response of winter wheat to cold: production of phenolic compounds and L-phenylalanine ammonia lyase activity. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2005;41(6):600-603. DOI: 10.1007/s10438-005-0109-2
- Ryadnova I.M. Lignification of shoots in fruit trees and their frost resistance (Odrevesneniye pobegov plodovykh derevyev i ikh morozostoykost). *Russian Journal of Plant Physiology*. 1957;4(2):134-137. [in Russian] (Ряднова И.М. Одревеснение побегов плодовых деревьев и их морозоустойчивость. *Физиология растений*. 1957;4(2):134-137).
- Talamond P., Verdeil J.L., Conéjéro G. Secondary metabolite localization by autofluorescence in living plant cells. *Molecules*. 2015;20(3):5024-5037. DOI: 10.3390/molecules20035024
- Toth I.K., Bell K.S., Holeva M.C., Birch P.R.J. Soft rot erwiniae: from genes to genomes. *Molecular Plant Pathology*. 2003;4(1):17-30. DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00149.x.20569359
- Wei H., Dhanaraj A.L., Arora R., Rowland L.J., Fu Y., Sun L. Identification of cold acclimation-responsive *Rhododendron* genes for lipid metabolism, membrane transport and lignin biosynthesis: importance of moderately abundant ESTs in genomic studies. *Plant, Cell and Environment*. 2006;29(4):558-570. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01432.x
- Zaprometov M.N. Phenolic compounds: distribution, metabolism and functions in plants (Fenolnye soedineniya: rasprostraneniye, metabolism i funktsii v rasteniyakh). Moscow: Nauka; 1993. [in Russian] (Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. Москва: Наука; 1993).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Кархардин И.В., Коновалов А.А., Гончаров Н.П. Изучение потенциальной зимостойкости сортообразцов и генотипов озимой мягкой пшеницы с помощью анализа автофлуоресценции тканей проростков. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):33-40. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-33-40

Karkhardin I.V., Konovalov A.A., Goncharov N.P. Assessment of potential winter hardiness in winter bread wheat cultivars and genotypes by analyzing autofluorescence in seedling tissues. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):33-40. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-33-40

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-33-40>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

Перспективы интродукции *Symphytum asperum* Lepech. в условиях Крайнего Севера РФ

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47

УДК 581.41+633.39

Поступление/Received: 19.09.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



В. А. КОРЕЛИНА, О. Б. БАТАКОВА*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова
Уральского отделения Российской академии наук,
163069 Россия, г. Архангельск, Набережная Северной
Двины, 23

* obb05@bk.ru

Prospects for the introduction of *Symphytum asperum* Lepech. into the Far North of the Russian Federation

V. A. KORELINA, O. B. BATAKOVA*

N. Laverov Federal Center
for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
23 Severnoy Dviny Embankment,
Arkhangelsk 163069, Russia

* obb05@bk.ru

Актуальность. Выбор культур, обладающих большей адаптационной способностью к условиям Северного региона, имеющих больший выход сухого вещества с гектара, протеина, необходимых аминокислот, витаминов, сахаров, каротина, микроэлементов, позволит решить проблему обеспечения животноводства высококачественными кормами.

Материалы и методы исследования. Объектом изучения стал окопник шершавый (*Symphytum asperum* Lepech.). Исследования проводили на опытном поле ФГБУН ФИЦКИА УРОРАН АРХНИИСХ (г. Котлас) с 2006 по 2019 г. согласно общепринятым методикам. Почвы – дерново-подзолистые суглинки. Посадку *S. asperum* проводили черенками по 4–5 шт. на 1 м² в мае 2006 г. Площадь учетной делянки – 5 м², повторность трехкратная, размещение вариантов систематическое. Питательную ценность интродуцента сравнивали с клевером луговым (сорт ‘Приор’) в биохимической лаборатории в инфракрасном анализаторе NIR SCANNER 4250 в расчете на 1 кг сухого вещества.

Результаты. Дана оценка успешности интродукции окопника шершавого (*S. asperum*) в условиях субарктической зоны Европейского Севера РФ из естественного генофонда на основе исследования хозяйственно полезных признаков для возможности применения в сельскохозяйственном производстве. Установлено, что вид проходит весь цикл онтогенеза, что свидетельствует о высокой степени адаптации к условиям региона. Интродуцент характеризуется высокой зимостойкостью и отавностью, ранневесенним отрастанием, стабильной продуктивностью, устойчивостью к болезням и вредителям, высокими питательными свойствами корма.

Ключевые слова: агроценозы, зеленая масса, продуктивность, протеин, кормовые культуры, адаптация.

Background. The choice of crops with greater adaptability to the environments of the Northern Region and higher yield of dry matter per hectare, rich in protein, essential amino acids, vitamins, sugars, carotene, and trace elements, would solve the problem of providing livestock with high-quality feeds.

Materials and methods. The object of the study was rough comfrey (*Symphytum asperum* Lepech.). The research was carried out in the experimental field of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research in Kotlas from 2006 to 2019 using generally accepted techniques. The soils were sod-podzolic loams. Planting of *S. asperum* was carried out with cuttings (4–5 pieces per 1 m²) in May 2006. The record plot area was 5 m², the number of replications was three, and the arrangement of variants was regular. The nutritional value of the introduced plant was compared with that of red clover (cv. ‘Prior’) in the biochemical laboratory in a NIR SCANNER 4250 infrared analyzer, calculated for 1 kg of dry matter.

Results. Successful introduction of rough comfrey (*S. asperum*) into the subarctic zone of the European North of Russia from its natural gene pool was assessed on the basis of a study of economically useful traits with the purpose of its possible utilization in agricultural production. This species was seen to pass through the entire cycle of ontogenesis, which is the evidence of a high degree of adaptation to the conditions of the region. The introduced species is characterized by high winter hardiness, good aftermath yield, early-spring regrowth, stable productivity, resistance to diseases and pests, and high nutritional value of the feed.

Key words: agricultural cenoses, green biomass, productivity, protein; forage crops, adaptation.

Введение

Одной из важнейших проблем сельского хозяйства субарктической зоны Северного региона является увеличение производства кормов, улучшение их качества и энергонасыщенности. Обеспеченность животноводства кормами в регионе составляет 60–70% годовой потребности, высоким остается дефицит белка в кормовых рационах, что является сдерживающим фактором роста

продуктивности животноводства. Агрономическая наука в своем арсенале имеет такие культуры, которые принято считать нетрадиционными. Выбор культур, обладающих большей адаптационной способностью к условиям Северного региона, имеющих больший выход сухого вещества с гектара, протеина, необходимых аминокислот, витаминов, сахаров, каротина и микроэлементов, позволит решить проблему обеспечения животноводства высококачественными кормами.

Дикорастущая флора является неоценимым источником расширения видового состава возделываемых растений; интродукционные исследования включают многолетнюю программу наблюдений исходного материала и получение улучшенных интродукционных популяций. Интродукция растений основывается на знаниях экологического потенциала различных видов, сортов и экотипов растений, отражающих в онтогенезе весь комплекс своего генетического наследия и исторического развития в районах происхождения, а также возможность их адаптации в новых условиях районов внедрения (Belyuchenko, 2004, 2005, 2007; Belyuchenko, Mustafae, 2013). Таким образом, интродукция растений позволяет не только сохранить биоразнообразие, расширять видовой состав используемых растений, но и придать искусственным растительным сообществам (агрофитоценозам и агробиогеноценозам) большую устойчивость, высокую биологическую продуктивность, сохранность экологической среды (Demyanova, 2012).

Совершенствование ассортимента следует рассматривать как одно из приоритетных направлений в реализации биологического потенциала сельскохозяйственных культур. Введение кормовых культур в севообороты позволяет повысить устойчивость функционирования агроэкосистем, вовлечь в биологический круговорот значительные количества углерода и азота, свести к минимуму эрозионные процессы, обеспечить зерновые и технические культуры ценными предшественниками (Zhitin, Voloshina, 2017; Hartley, 1963).

Оптимизация технологии возделывания традиционных культур не позволяет в настоящее время полностью решить все вопросы, связанные с проблемой кормопроизводства. Для создания прочной кормовой базы животноводства необходимо расширение ассортимента кормовых растений путем интродукции новых дикорастущих видов. Все возрастающий в животноводстве страны дефицит белка диктует необходимость поиска в природной флоре высокобелковых видов кормовых растений, продуктивность и питательная ценность которых значительно выше, чем традиционных. Новые кормовые культуры должны обладать длительным сроком хозяйственного использования (не менее 3–8 лет), ранними сроками начала вегетации, способностью образовывать за сезон 2–3 генерации побегов, что позволит увеличить продолжительность периода использования зеленых кормов, иметь многоцелевое хозяйственное назначение (зеленая подкормка, приготовление силоса, травяной муки и т. д.) (Moiseev et al., 1963). В последние годы для повышения продуктивности агроэкосистем, улучшения качества продукции довольно широко используется интродукция растений. К культуре, которая заслуживает внимание, относится окопник шершавый – *Symphytum asperum* Lepech. (Voloshina, 2012).

Виды рода окопник (*Symphytum* L.) из семейства борагинных (Boraginaceae Juss.) имеют значительный хозяйственный потенциал и представляют интерес как кормовые, медоносные, лекарственные, масличные, красильные и декоративные растения (Frolov, 1982). Окопник шершавый (*Symphytum asperum* Lepech.) известен также под названиями: о. жесткий, о. шероховатый, о. армянский, комфрей колючий (русский комфрей). Как народное лекарственное средство представители рода *Symphytum* известны давно; с XVIII века окопник вошел в научную медицину. Первые сведения об использовании окопника в Европе относятся к середине XVIII века (Zhitin, Voloshina, 2017), а с начала XX века его используют

в Австралии, Новой Зеландии, Индии, Японии и в Африке. В России его рекомендовали как прекрасный корм для сельскохозяйственных животных со второй половины XIX века (Moiseev et al., 1963). С 1930-х годов окопник в России изучали в разных природных зонах (от Ленинграда до Кубани и Закавказья) (Voloshina, 2012). В условиях субарктической зоны РФ в Республике Коми окопник шершавый изучали с конца 1950-х до 1975 года. В условиях Архангельской области исследования проведены нами впервые.

Цель исследования: изучить морфобиологические особенности роста и развития окопника шершавого, длительность функционирования фитоценозов и на этой основе оценить возможность введения вида *S. asperum* в культуру для субарктической зоны Европейского Севера.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – окопник шершавый (*Symphytum asperum* Lepech.). Изучали реакцию окопника шершавого на условия культивирования в субарктической зоне РФ, а именно: зимостойкость, отрастание после перезимовки и укосов, отношение к пониженным температурам в начале вегетации растений, сроки полного прохождения растениями полного жизненного цикла, кормовую продуктивность и питательность корма. Исследования проводили на опытном поле ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦКИА УрОРАН АРХНИИХС; г. Котлас) с 2006 по 2019 г. согласно методическим указаниям (Methodological guidelines..., 1985; Fedin, 1985; Dospekhov, 1985).

Почвы опытного участка представлены дерново-подзолистыми суглинками. Мощность пахотного горизонта – 20–22 см, кислотность – pH 6,0, содержание гумуса – 2,2, содержание подвижного фосфора P_2O_5 – 250 мг/кг, обменного калия K_2O – 100 мг/кг на 100 г почвы. Посадочный материал обнаружен и взят на суходольном некошеном лугу в южной части Архангельской области (61°9'18"N, 46°32'40"E). Популяция включала 18 генеративных особей. Опытные посевы размещали по однолетним культурам, посадку *S. asperum* проводили черенками в мае 2006 г. с нормой 4–5 шт. на 1 м². Площадь учетной делянки – 5 м², повторность трехкратная, размещение вариантов систематическое.

Проведены основные наблюдения и учеты: фенологические наблюдения за прохождением основных этапов роста и развития растений, их морфологический анализ; биопроductивность. Урожайность зеленой массы учитывали с делянки (кг/м²) в начале цветения в первом и втором укосах. Подкосу травостоя проводили ручными косами на высоте стеблестоя 7–10 см, массу взвешивали на промышленных механических весах третьего класса точности. Последние укосы проводили не позже чем за 20–25 дней до окончания вегетации (25–30 августа).

Питательную ценность зеленой массы образцов *S. asperum* сравнивали с одной из самых распространенных высокобелковых культур Северного региона – клевером луговым (сорт 'Приор'), районированным по данному региону. Для проведения химического анализа образцов пробы в количестве 1 кг отбирали в сухую погоду в одно и то же время (до 8–10 часов утра), в фазу «начало цветения». Зеленую массу помещали в марлевые мешки и высушивали в тени проветриваемого по-

мещения. В биохимической лаборатории высушенную массу мололи на мельнице IKA TUBE MILL CONTROL, после чего образец в количестве 5–7 г помещали в инфракрасный анализатор NIR SCANNER model 4250 для определения энергетической и протеиновой питательности культуры в расчете на 1 кг сухого вещества.

Результаты и обсуждение

S. asperum – многолетнее корневищное растение. В первый год жизни основную массу составляли тонкие корни. На второй и третий годы жизни корни проникали вглубь до 150 см. Стебли прямые, разветвленные, от 100 до 150 см в высоту, покрыты жесткими колосовыми волосками. Листья крупные, продолговатоланцетные, цельнокрайные, у основания сердцевидные или округлые, заостренные, характер жилкования сетчатый, покрыты шершавыми волосками. Нижние листья длинночерешковые, верхние листья на стебле короткочерешковые или сидячие. Особенно крупные длинночерешковые листья формируются после укоса окопника у так называемой отавы, которая осенью почти полностью состояла из них, стебли почти отсутствовали. При ежегодном однократном скашивании на одном растении насчитывали от 100 до 200, при двукратном – от 30 до 80 листьев.

Соцветие *S. asperum* – многоцветковый завиток, который улиткообразно скручен до цветения, а по мере расцветания постепенно распрямляется, становясь похожим

Листья перенесли заморозки до минус 3–5°C в 2011 г. При более сильных морозах они погибали (2010 г.), а затем, при наступлении теплой погоды, отрастали новые листья. В условиях субарктической зоны Европейского Севера получали два полноценных укоса, причем оба укоса по сбору зеленой массы практически равноценны.

Размножается *S. asperum* семенами, а также вегетативно. Согласно исследованиям Е. И. Демьяновой (Демьянова, 2012), семена созревают крайне неравномерно. В наших условиях семена созревали неодновременно и по мере своего созревания осыпались, сбор их представлял большую трудность. Было сложно получить семенной материал в объеме, необходимом для посевов на больших площадях, поэтому размножали растения только вегетативным способом.

Результаты десятилетних фенологических наблюдений показали, что в условиях субарктической зоны Европейского Севера вегетация у *S. asperum* начинается после устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C, то есть вид относится к растениям с ранневесенним началом отрастания. Сроки начала отрастания за годы наблюдений колебались от третьей декады апреля до первой декады мая (табл. 1). Амплитуда колебаний сроков отрастания за исследованный период достигала 17 дней. Рост прикорневых листьев продолжался до половины июня, то есть более 35–40 дней. Период от начала появления стеблей до начала цветения составлял 14–17 дней. В этот период происходил очень энергичный рост растений в высоту.

Таблица 1. Основные фенологические фазы окопника шершавого (*Symphytum asperum* Lepech.) при интродукции за период 2007–2019 гг. (Архангельская обл., Котлас)

Table 1. Main phenological phases of rough comfrey (*Symphytum asperum* Lepech.) during its introduction in the period of 2007–2019 (Kotlas, Arkhangelsk Province)

Фенофаза	Сроки наступления			Амплитуда
	min	max	M ± m	
Начало вегетации	21,04	07,05	29,04 ± 4,6	17
Бутонизация	14,06	24,06	18,06 ± 2,1	11
Начало цветения	27,06	04,07	29,06 ± 1,5	8
Конец цветения	29,07	14,09	18,08 ± 9,3	50
Начало плодоношения	15,07	28,07	24,07 ± 2,7	14
Конец вегетации	19,09	05,10	12,10 ± 9,1	18

Примечание: M ± m – среднее значение, ± – ошибка среднего
Note: M ± m – mean, ± – error of the mean

на поникающее кистевидное соцветие. Цветки колокольчатые, от 15 до 20 мм в диаметре, собраны на верхушке стебля и ветвей, меняющие цвет на протяжении цветения – в бутоне пурпуровые, в раскрытом виде – сиреневые или фиолетовые. Время цветения – май – июль. Чашечка короче венчика. Плод – четыре матовых серого цвета односемянных орешка. Вес 1000 плодов – от 7 до 9 г.

Окопник – многолетнее холодостойкое морозостойчивое растение. При различных погодных условиях в нашем регионе корни его выдерживали сильные заморозки: отмечено понижение температуры до минус 41°C при высоте снежного покрова до 31 см. В условиях субарктической зоны Европейского Севера выпадов растений из-за вымерзания не наблюдалось за весь период изучения.

В генеративный период развития растения вступали на второй год жизни. Один из наиболее важных моментов в жизни растения – цветение. Многолетние наблюдения позволили установить, что растения исследованного нами вида в условиях интродукции регулярно цвели, в фазу «начало цветения» вступали в конце июня – начале июля (рисунок). Фаза «бутонизация» проходила в течение 5–9 дней. Периоды цветения и созревания растянуты, созревание семян осуществлялось на 32–37 день после начала цветения и продолжалось в течение всего периода вегетации.

Конец вегетации наступал в конце сентября или в начале октября, в зависимости от перехода среднесуточных температур через 0°C. Очень сложно опреде-



Рисунок. Окопник шершавый (*Symphytum asperum* Lepech.)

(фото О. Б. Батаковой)

Figure. Rough comfrey (*Symphytum asperum* Lepech.)

(photo by O. B. Batakova)

лить продолжительность вегетационного периода интродукта, так как созревание семян происходило очень неравномерно и в течение длительного времени. Период от отрастания до конца вегетации растений составлял 170–189 дней. При многолетних полевых наблюдениях повреждений болезнями и вредителями не выявлено.

При весенней посадке черенками в 2006 г. уже к осени получен урожай зеленой массы – 15,8 кг с 1 м² (табл. 2). Первый учет зеленой массы окопника по годам исследований проводили в начале – середине июня, когда растения достигали в высоту 90–120 см и находились в фазе начала цветения. Второй учет зеленой массы – 5–20 августа при высоте растений 70–110 см. Двухукосное использование окопника позволяло получить за вегетационный период от 32,0 до 125,0 кг/м² зеленой массы. Высокий урожай зеленой массы за два укоса получен в 2007 и 2008 г. – 103,5 и 125,3 кг/м² соответственно, наибольший отмечен на третий год жизни. Окопник шершавый характеризуется высокой урожайностью зеленой массы в самых различных климатических регионах (Moiseev et al., 1963). По данным Н. И. Капустина (Kapustin, Chukhi-

na, 2014), в Северо-Западном регионе РФ окопник обладает хорошей отавностью, что позволяет скашивать его 2–4 раза в год и получать 60–100 т/га зеленой массы с содержанием в ней до 24% белка на сухое вещество.

За период изучения, урожайность варьировала в зависимости от погодных условий вегетационного периода. Исследования проводили в течение 13 лет: опыт заложен в 2006 г., что доказывает долговечность посадок окопника. Длина вегетационного периода на зеленую массу по годам исследований до одного укоса варьировала от 43 до 63 дней, от первого до второго укоса – от 64 до 82 дней.

По питательности зеленая масса окопника шершавого не уступает бобовым травам. Она богата протеином, углеводами, витаминами (В12, каротин, аскорбиновая кислота), минеральными солями. Превышает клевер луговой по количеству кормовых единиц на 0,13, обменной энергии – на 1,23 МДж, сырого протеина – на 58,63 г и по другим основным показателям (табл. 3). При пробном скормлении на животноводческом комплексе ФГУП «Котласское», после измельчения и подвяливания зеленая масса хорошо поедалась крупнорогатым скотом.

Таблица 2. Длина вегетационного периода и урожайность зеленой массы окопника шершавого (*Symphytum asperum* Lepech.) за период 2007–2019 гг. (Архангельская обл., Котлас)

Table 2. The length of the growing season and green biomass yield of rough comfrey (*Symphytum asperum* Lepech.) for the period of 2007–2019 (Kotlas, Arkhangelsk Province)

Года изучения	Длина вегетационного периода, (отрастание – 1 укос), дней	Длина вегетационного периода, (отрастание после 1 укоса – 2 укос), дней	Урожайность зеленой массы, кг/м ²		
			1 укос	2 укос	Сумма
2006	43	72	15,8 ± 5,8	–	15,8 ± 5,8
2007	46	71	64,1 ± 23,6	61,1 ± 23,1	103,5 ± 36,2
2008	48	70	54,1 ± 15,4	49,5 ± 14,1	125,3 ± 45,7
2009	61	72	31,4 ± 8,7	30,4 ± 8,4	61,8 ± 18,2
2010	57	69	27,4 ± 6,9	22,6 ± 5,1	50,0 ± 16,3
2011	57	81	26,2 ± 7,1	23,8 ± 6,3	50,0 ± 18,9
2012	40	79	35,9 ± 9,4	32,1 ± 8,9	68,0 ± 21,2
2013	54	64	16,4 ± 4,5	16,3 ± 4,8	32,4 ± 8,5
2014	54	69	48,7 ± 13,9	43,7 ± 12,4	92,4 ± 29,1
2015	54	71	20,4 ± 6,7	18,3 ± 6,1	38,4 ± 10,9
2016	54	65	39,7 ± 8,4	33,8 ± 7,8	72,9 ± 19,6
2017	45	72	34,5 ± 8,2	33,0 ± 7,9	67,5 ± 25,3
2018	59	69	42,6 ± 10,6	36,4 ± 8,1	79,0 ± 32,1
2019	63	82	38,6 ± 9,5	34,2 ± 7,9	72,8 ± 17,8
Среднее	56	72	35,1 ± 7,4	31,3 ± 6,8	66,4 ± 14,8

Таблица 3. Химический состав зеленой массы окопника шершавого (*Symphytum asperum* Lepech.) в сравнении с клевером луговым (*Trifolium pratense* L.), 2018 г. (Архангельская обл., Котлас)

Table 3. Chemical composition of the green biomass of rough comfrey (*Symphytum asperum* Lepech.) compared with red clover (*Trifolium pratense* L.), 2018 (Kotlas, Arkhangelsk Province)

Культура	Сорт	В 1 кг сухого вещества									
		к.е.	Обменная энергия, МДж	Протеин, г		Клетчатка, г	Сахара, г	Каротин, мг	Жир, г	Кальций, г	Фосфор, г
				сырой	Переваримый						
Клевер луговой	Приор	0,60	8,30	98,30	63,90	308,80	97,70	30,5	2,32	2,17	2,69
Окопник шершавый	дикорастущий	0,73	9,53	156,93	102,03	260,97	31,50	130,29	37,99	13,48	3,00
Отклонение		+0,13	+1,23	+58,63	+38,13	–47,83	–66,2	+99,79	+35,67	+11,31	+0,31

Выводы

В результате многолетнего исследования по интродукции окопника шершавого (*Symphytum asperum*) в условиях субарктической зоны РФ выявлены: долговечность на одном месте произрастания, устойчивость к неблагоприятным климатическим факторам (перезимовка, степень повреждения морозом), полное прохождение фаз онтогенеза до регулярного цветения и незначительного плодоношения, стабильная высокая кормовая продуктивность, устойчивость к вредителям и болезням, высокие питательные достоинства. Все эти показатели подтверждают высокую адаптацию окопника шершавого к условиям субарктической зоны РФ. Одна из основных проблем, тормозящих внедрение данной культуры в сельхозпроизводство, – крайне низкая семенная продуктивность. При серьезной селекционной проработке в этом направлении окопник шершавый может занять достойную нишу в структуре сельхозугодий при производстве дешевых, высокопитательных кормов и рациональнее использовать климатические условия Северного региона.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН № 0677-2014-0005.

The work was carried out within the framework of the State Task assigned to the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, UB RAS, No. 0677-2014-0005.

References / Литература

- Belyuchenko I.S. Evolutionary and ecological approaches to the plants introduction in practice. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2005;1(2):104-111. [in Russian] (Белюченко И.С. Эволюционно-экологические основы практической интродукции растений. *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2005;1(2):104-111).
- Belyuchenko I.S. Evolutionary and ecological bases of practical plant introduction. *Biological Bulletin*. 2004;8:79-83. [in Russian] (Белюченко И.С. Эволюционно-экологические основы практической интродукции растений. *Биологический вестник*. 2004;8:79-83).
- Belyuchenko I.S. Introduction of plants in the work of botanical gardens (Introduktsiya rasteniy v rabote botanicheskikh sadov). In: *Evolutionary and ecological aspects of plant introduction at the present stage (issues of theory and practice). Proceedings of the First Scientific and Practical Conference (Evolyutsionno-ekologicheskiye aspekty introduktsii rasteniy na sovremennom etape (voprosy teorii i praktiki). Materialy pervoy nauchno-prakticheskoy konferentsii)*. Krasnodar; 2007. p.7-24. [in Russian] (Белюченко И.С. Интродукция растений в работе ботанических садов. В кн.: *Эволюционно-экологические аспекты интродукции растений на современном этапе (вопросы теории и практики). Материалы первой научно-практической конференции*. Краснодар; 2007. С.7-24).
- Belyuchenko I.S., Mustafaev B.A. introduction of plants as a method of expansion composition of species of cultural phytocenoses in the southern regions of the CIS. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2013;9(4):73-89. [in Russian] (Белюченко И.С., Мустафаев Б.А. Интродукция растений как метод расширения видового состава культурных фитоценозов в южных районах СНГ. *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2013;9(4):73-89).
- Demyanova E.I. The seed production *Symphytum asperum* Lepech. on Perm Krai by conditions of the introduction. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2012;3:4-7. [in Russian] (Демьянова Е.И. Семенная продуктивность окопника жесткого (*Symphytum asperum* Lepech.) в Пермском Крае в условиях интродукции. *Вестник Пермского университета. Серия «Биология»*. 2012;3:4-7).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials. (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokozyaystvennykh kultur). Moscow; 1985. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. М.А. Федина. Москва; 1985).
- Frolov Yu.M. Comfrey in the conditions of the North (Okopnik v usloviyakh Severa). Leningrad: Nauka; 1982. [in Russian] (Фролов Ю.М. Окопник в условиях Севера Ленинград: Наука; 1982).
- Hartley W. The phytogeographical basis of pasture plant introduction. *Genetica Agraria*. 1963;17(1-4):1-4.
- Kapustin N.I., Chukhina O.V. New forage crops for the Northern and Northwestern regions of Russia (Novye kormovye kultury dlya Severnogo i Severo-Zapadnogo regionov Rossii). Vologda; 2014. [in Russian] (Капустин Н.И., Чухина О.В. Новые кормовые культуры для Северного и Северо-Западного регионов России. Вологда; 2014).
- Methodological guidelines for the selection of perennial grasses. (Metodicheskiye ukazaniya po selektsii mnogoletnikh trav). Moscow: VASKhNIL; 1985. [in Russian] (Методические указания по селекции многолетних трав. Москва: ВАСХНИЛ; 1985).
- Moiseev K.A., Vavilov P.P., Bolotova E.S., Kosmortov V.A. New promising silage plants in the Komi ASSR (Novye perspektivnye silosnye rasteniya v Komi ASSR). Syktyvkar; 1963. [in Russian] (Моисеев К.А., Вавилов П.П., Болотова Е.С., Космортов В.А. Новые перспективные силосные растения в Коми АССР. Сыктывкар; 1963).
- Voloshina E.V. Evaluation of the economic value of Caucasian comfrey (Otsenka khozyaystvennoy tsennosti okopnika kavkazskogo). In: *Agricultural science is the base for successful development of the agroindustrial complex and conservation of ecosystems (Agrarnaya nauka – osnova uspehnogo razvitiya APK i sokhraneniya ekosistem). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, January 31 – February 02, 2012. Vol. 2. Volgograd; 2012. p.41-43. [in Russian] (Волошина Е.В. Оценка хозяйственной ценности окопника кавказского. *Аграрная наука – основа успешного развития АПК и сохранения экосистем. Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 31 января – 02 февраля 2012 г. Т. 2. Волгоград; 2012. С.41-43).**
- Zhitin Yu.I., Voloshina E.V. Influence of the adjacent ecosystems on the agrocoenosis of comfrey. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2017;2(53):50-58. [in Russian] (Житин Ю.И., Волошина Е.В. Влияние прилегающих экосистем на агроценозы окопника. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2017;2(53):50-58). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.2.50

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Корелина В.А., Батакова О.Б. Перспективы интродукции *Symphytum asperum* Lepech. в условиях Крайнего Севера РФ. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):41-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47

Korelina V.A., Batakova O.B. Prospects for the introduction of *Symphytum asperum* Lepech. into the Far North of the Russian Federation. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):41-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-41-47

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-41-47>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Korelina V.A. <https://orcid.org/0000-0002-9883-6054>

Batakova O.B. <https://orcid.org/0000-0001-6052-7674>

Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58

УДК 633.16:631.52:[577.114]

Поступление/Received: 21.08.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



В. И. ПОЛОНСКИЙ^{1, 5}, Н. А. СУРИН², С. А. ГЕРАСИМОВ^{2*},
А. Г. ЛИПШИН², А. В. СУМИНА³, С. А. ЗЮТЕ⁴

¹ Красноярский государственный аграрный университет,
660049 Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 90

✉ vladim.polonskiy@mail.ru

² Красноярский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства – обособленное подразделение
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
Красноярский научный центр СО РАН»,
660036 Россия, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50

✉ g-s-a2009@yandex.ru

³ Хакасский государственный университет
им. Н.Ф. Катанова,
655000 Россия, Республика Хакассия, г. Абакан,
ул. Ленина, 90

✉ alenasumina@list.ru

⁴ Стендский научный центр,
Институт агроресурсов и экономики,
Дизстенде, Либаская волость,
Талсинский край LV 3258, Латвия

✉ sanita.zute@arei.lv

⁵ Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

✉ vladim.polonskiy@mail.ru

Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia

V. I. POLONSKIY^{1, 5}, N. A. SURIN², S. A. GERASIMOV^{2*},
A. G. LIPSHIN², A. V. SUMINA³, S. A. ZUTE⁴

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University,
90 Mira Ave., Krasnoyarsk 660049, Russia

✉ vladim.polonskiy@mail.ru

² Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture,
affiliated to Krasnoyarsk Scientific Center,
Siberian Branch of the RAS,
50 Akademgorodok St.,
Krasnoyarsk 660036, Russia

✉ g-s-a2009@yandex.ru

³ N.F. Katanov Khakass State University,
90 Lenina St, Abakan 655000,
Republic of Khakassia, Russia

✉ alenasumina@list.ru

⁴ Stende Research Centre,
Institute of Agricultural Resources
and Economics, Dizstende, Libagu Parish,
Talsu District LV 3258 Latvia

✉ sanita.zute@arei.lv

⁵ Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave.,
Krasnoyarsk 660041, Russia

✉ vladim.polonskiy@mail.ru

Актуальность. Центральное место в селекции занимает проблема повышения качества зерна для создания сортов ячменя кормового, крупяного и пивоваренного направлений. Цель исследований состояла в выявлении образцов ячменя с минимальным и максимальным содержанием β -глюканов в зерне в сочетании с улучшенными другими ценными признаками.

Материалы и методы. Объектом анализа служили 18 пленчатых и 8 голозерных образцов ячменя коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) различного эколого-географического происхождения, которые выращивали в условиях Восточной Сибири в 2016–2018 гг.

Результаты и обсуждение. По минимальному значению рассматриваемого качественного признака (3,18–3,43%) выделены сорта сибирской селекции – ‘Маяк’ (к-29622, Красноярский край), ‘Тарский 3’ (к-30719, Омская обл.) и сорт ‘AC Albright’ (к-30599, Канада), по максимальному (5,06–5,21%) – голозерные образцы Нудум 155 (к-13328, Украина) и ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.). Наибольшее содержание белка в зерне (16,63–18,36%) выявлено у образцов Нудум 155, Нудум 7566 (к-29453, Киргизия) и ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.). Одновременно высоким содержанием β -глюканов и белка в зерне характеризовались образцы Нудум 155 и ‘Нудум 95’. Скороспелость и повышенную урожайность показали образцы – ‘Тарский 3’, ‘Колчан’ (к-31039, Алтайский край), ‘Золотник’ (к-30845,

Background. The aim of the research was to identify barley germplasm accessions with the minimum and maximum content of β -glucans in their grain in combinations with other improved useful traits.

Material and methods. The material for analysis were 18 hulled and 8 naked barley accessions of various ecogeographic origin from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), which were grown under the conditions of Eastern Siberia in 2016–2018.

Results. Hulled accessions yielded grains with β -glucan content from 3.18 to 4.51%; naked ones, from 3.18 to 5.21%. According to the minimum value of the studied qualitative trait (3.18–3.43%), cultivars of Siberian breeding were identified: ‘Mayak’ (k-29622, Krasnoyarsk Territory) and ‘Tarsky 3’ (k-30719, Omsk Province), plus cv. ‘AC Albright’ (k-30599, Canada); according to the maximum value (5.06–5.21%), the naked accessions Nudum 155 (k-13328, Ukraine) and ‘Nudum 95’ (k-31125, Chelyabinsk Province). The highest protein content in grain (16.63–18.36%) was found in the accessions Nudum 155, Nudum 7566 (k-29453, Kyrgyzstan) and ‘Nudum 95’. The accessions Nudum 155 and ‘Nudum 95’ were characterized by combined high contents of β -glucans and protein in their grain. Early maturity and increased productivity were shown by the cultivars ‘Tarsky 3’, ‘Kolchan’ (k-31039, Altai Territory), ‘Zolotnik’ (k-30845, Altai Territory), ‘Abalak’ (Krasnoyarsk Territory, Tyumen Province), and ‘AC Albright’ (Canada). A significant

Алтайский край), 'Абалак' (Красноярский край, Тюменская обл.), 'AC Albright' (Канада).

Заключение. По содержанию β -глюканов в зерне в сочетании с другими ценными характеристиками представляют интерес для селекции на совершенствование сортов фуражного направления образцы 'Маяк', 'Тарский 3' и 'AC Albright', а для селекции сортов крупяного назначения – 'Нудум 95' и Нудум 155.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., оценка, зерно, белок, масса 1000 зерен, натура, вегетационный период, урожайность.

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) по сравнению с другими зерновыми культурами обладает ценными биологическими особенностями, такими как скороспелость, повышенная устойчивость к ранневесенним засухам и низким температурам, способность к формированию высококачественного зерна в условиях дождливой и прохладной осени (Surin et al., 2011). Зерно ячменя содержит практически полный набор незаменимых аминокислот, включая особо дефицитные – лизин и триптофан, превосходя по их содержанию пшеницу и кукурузу (Garkavy, Pylneva, 1980). Среди других важных химических веществ, входящих в состав зерна, следует отметить наличие специфических полисахаридов, так называемых β -глюканов, которые, как известно, способны оказывать профилактическое и лечебное воздействие на организм человека (Harland, 2014; Loskutov, Polonskiy, 2017). В частности, отмечено, что пищевые волокна зерна активизируют иммунную систему человека, обладают противовоспалительным действием, нейтрализуют опасное воздействие свободных радикалов, оказывают противоопухолевое и противоаллергическое действие (Sagnelli et al., 2018; Bozbulut et al., 2019). Положительный эффект у человека заключается в снижении концентрации глюкозы, общего холестерина, липопротеидов низкой плотности и триглицеридов в крови (Behall et al., 2004).

В то же время повышенная концентрация β -глюканов в зерне снижает питательную ценность корма, препятствуя его эффективному усвоению нежвачными животными из-за образования слизи в желудочно-кишечном тракте. Это приводит к снижению прироста живой массы и ухудшению их внешнего вида (Shivus, Gullord, 2002).

Кроме того, очень важно, чтобы зерно ячменя, предназначенное на пивоваренные цели, имело низкое содержание специфических полисахаридов клеточной стенки и отличалось быстрым синтезом ферментов, способных гидролизовать такие пищевые волокна (Bedford et al., 1991).

Поэтому при создании специализированных сортов ячменя кормового, крупяного и пивоваренного направлений целесообразно наличие информации о содержании β -глюканов в зерне различных перспективных генотипов (Zhu et al., 2016). В условиях Восточной Сибири нами ранее была проведена предварительная оценка по содержанию β -глюканов в зерне сортов другой зерновой культуры – овса (Polonskiy et al., 2019; Gerasimov et al., 2020). К сожалению, такие данные по ячменю в литературе практически отсутствуют, и лишь отдельные публикации последних лет указывают на важность расширения исследований в этом направлении (Polonskiy, Sumina, 2013; Martínez et al., 2018).

positive relationship was found between the content of β -glucans and the weight of 1000 grains in both forms of barley.

Conclusion. According to β -glucan content combined with other valuable characteristics in grain, the accessions 'Mayak', 'Tarsky 3' and 'AC Albright' are of interest for the improvement of fodder cultivars, while 'Nudum 95' and Nudum 155 are promising for breeding for food.

Key words: *Hordeum vulgare* L., barley, assessment, grain, protein, 1000 grain weight, test weight, growing season, yield.

Цель работы – выявление образцов ячменя с минимальным и максимальным содержанием β -глюканов в зерне в сочетании с повышенным содержанием белка, натурой зерна, массой 1000 зерен, скороспелостью и урожайностью.

Материалы и методы

Объектами изучения служили 18 пленчатых и 8 голозерных образцов ячменя из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 7 из которых имели зарубежное происхождение, остальные преимущественно были представителями сибирской селекции (табл. 1).

Исследования проводили в 2016–2018 гг. на опытных полях Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КрасНИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН), расположенных в лесостепной зоне Восточной Сибири. Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным, характеризующимся агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 6.00%, N-NO₃ (ионометрический экспресс-метод) – 31,3 мг/кг почвы, P₂O₅ (по Мачигину) – 5,00 мг/100 г почвы, K₂O (по Мачигину) – 21,9 мг/100 г почвы; реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН 6.2). Предшественник – чистый пар. Площадь делянки – 1,8 м². Посев проведен в оптимальные для культуры сроки, во вторую декаду мая, уборку образцов осуществляли по мере их созревания. Погодные условия в Красноярской лесостепи в годы исследования были контрастными: 2016 и 2017 г. – влажные (ГТК – 1,59 и 1,47); 2018 г. – засушливый (ГТК – 0,75). В полевых условиях отмечали длину вегетационного периода растений. После уборки зерна определяли его физические и химические характеристики в каждом образце: массу 1000 зерен по методике ВИР (Loskutov et al., 2012), натуру – известным микрометодом (Walker, Panozzo, 2011), содержание белка и β -глюканов – на автоматическом зерновом анализаторе InfraTec Analyzer 1241 (Munck, 2005) с использованием 50 мл кюветы. Компания ООО EIRA (официальный представитель FOSS Analytical Ltd. в Латвии) разработала калибровочную модель для определения β -глюканов в зерне. Данные из 150 образцов зерна зерновых культур, проанализированные методами АОАС 995.16 и ICC № 168 для β -глюкана (Megasyne), были использованы для разработки модели калибровки. Калибровочная модель регулируется ежегодно с дополнительными 20–30 данными по эталонному методу. Стандартная ошибка измерения на приборе составляла 0,3%. Повторность определения каждого показателя двукратная. Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность различий результатов оценивали при $p \leq 0,05$.

Таблица 1. Образцы ячменя, используемые в исследовании

Table 1. Barley accessions used in the study

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название образца / Accession name	<i>Hordeum vulgare</i> L. разновидность / variety	Происхождение / Origin
Пленчатые образцы / Hulled barley accessions			
30243	Ача (стандарт / Acha (reference))	<i>nutans</i>	Новосибирская область / Novosibirsk Province
30984	Биом / Biom	<i>nutans</i>	– “ –
–	Танай / Tanay	<i>nutans</i>	– “ –
46502	Талан / Talan	<i>nutans</i>	– “ –
30245	Соболек / Sobolek	<i>ricotense</i>	Красноярский край / Krasnoyarsk Territory
27102	Красноярский 80 / Krasnoyarsky 80	<i>nutans</i>	– “ –
–	Емеля / Yemelya	<i>ricotense</i>	– “ –
29622	Маяк / Mayak	<i>nutans</i>	– “ –
–	Абалак / Abalak	<i>nutans</i>	Красноярский край, Тюменская область / Krasnoyarsk Territory, Tyumen Province
30977	Омский 96 / Omsky 96	<i>nutans</i>	Омская область / Omsk Province
30719	Тарский 3 / Tarsky 3	<i>pallidum</i>	– “ –
30845	Золотник / Zolotnik	<i>medicum</i>	Алтайский край / Altai Territory
31039	Колчан / Kolchan	<i>ricotense</i>	– “ –
31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	<i>nutans</i>	– “ –
–	Салаир / Salair	<i>nutans</i>	– “ –
30970	Княжич / Knyazhich	<i>nutans</i>	Белгородская область / Belgorod Province
30451	Зерноградец 770 / Zernogradets 770	<i>nutans</i>	Ростовская область / Rostov Province
30599	AC Albright	<i>pallidum</i>	Канада / Canada
Голозерные образцы / Naked barley accessions			
30919	Омский голозерный 1 (стандарт) / Omsky golozerny 1 (reference)	<i>nudum</i>	Омская область / Omsk Province
27471	Korona Laschego	<i>celeste</i>	Польша / Poland
30167	CDC Richard	<i>nudum</i>	Канада / Canada
31108	CDC McGuire	<i>nudum</i>	– “ –
30956	NS GL 1	<i>nudum</i>	Югославия / Yugoslavia
13328	Нудум 155 / Nudum 155	<i>nudum</i>	Украина / Ukraine
29453	Нудум 7566 / Nudum 7566	<i>nudum</i>	Киргизия / Kyrgyzstan
31125	Нудум 95 / Nudum 95	<i>nudum</i>	Челябинская область / Chelyabinsk Province

Результаты

В Восточно-Сибирском регионе нами впервые проведена оценка образцов ячменя по содержанию β -глюканов в зерне. Обращает на себя внимание, что указанный биохимический показатель подвержен заметному варьированию в зависимости от генотипа и погодных условий года выращивания (табл. 2).

В наших опытах стабильно низкий уровень β -глюканов имели сорта красноярской – ‘Маяк’ (к-29622), ‘Емеля’ (Красноярский край) (3,4...3,6%) и омской селекции – ‘Тарский 3’ (к-30719, Омская обл.) (3,2%), а также канадский сорт ‘AC Albright’ (к-30599, Канада) (3,4%). Наиболее высоким уровнем β -глюканов в зерне характеризуются голозерные сорта Нудум 155 (к-13328, Украина) (5,1%) и ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.) (5,2%). При этом отмечено, что наименьшим варьированием указанного биохимического признака во все годы изучения выделяются пленчатые сорта ‘Красноярский 80’ (к-27102), ‘Емеля’ и ‘Салаир’ (Алтайский край), среди голозерных ячменей – сорт ‘Нудум 95’. Голозерные образцы в целом отличались более высокой концентрацией β -глюканов в зерне по сравнению с пленчатыми ячменями.

В процессе изучения исходного материала ячменя вместе с β -глюканами определяли содержание белка в зерне. Этот показатель качества зерна, как известно, зависит от генотипа, природно-климатических факторов и агротехнических приемов выращивания (Kondratenko et al., 2015). Условия Восточно-Сибирского региона позволяют выращивать сорта ячменя кормового направления с повышенной концентрацией белка в зерне. Как видно из таблицы 2, максимальным содержанием белка в зерне характеризовались пленчатые сорта ‘Танай’ (Новосибирская обл.), ‘Золотник’ (к-30845, Алтайский край), ‘Биом’ (к-30984, Новосибирская обл.); в группе голозерных образцов – Нудум 155, Нудум 7566 (к-29453, Киргизия) и ‘Нудум 95’. Наиболее стабильное количество белка в зерне по годам выращивания было выявлено у сортов новосибирской селекции ‘Ача’ (к-30243) и ‘Талан’ (к-46502), а также у зарубежных образцов NS GL 1 (к-30956, Югославия) и Нудум 7566. Отметим, что голозерные образцы ячменя превосходили по этому признаку пленчатые сорта – соответственно 13,9–18,4 и 12,6–15,3%. Особую ценность в селекции на качество зерна представляют высокобелковые сорта пленчатого ячменя ‘Биом’, ‘Танай’ и ‘Золотник’, а также голозерные образцы NS GL 1, Нудум 155, Нудум 7566 и ‘Нудум 95’.

Важно отметить, что раннеспелые сорта пленчатого ячменя ‘Биом’ и ‘Золотник’ накапливают более 15,0% белка в отличие от других изучаемых сортов и представляют интерес в селекции на качество зерна.

Одной из важнейших характеристик любого сорта является продолжительность вегетационного периода. К числу наиболее скороспелых (68–72 дн.) нами отнесены сорта алтайской – ‘Колчан’ (к-31039), ‘Золотник’ и омской селекции – ‘Тарский 3’, среди зарубежных образцов – ‘AC Albright’ (Канада) и Нудум 155 (Киргизия), при вегетационном периоде стандартного сорта ‘Ача’ – 76 дней (табл. 3).

Масса 1000 зерен является одним из основных элементов продуктивности, от которого зависят технологические и биохимические характеристики зерна. К группе пленчатых сортов с высокой массой 1000 зерен (50,3–51,4 г) нами были отнесены сорта местной селекции – ‘Красноярский 80’ и ‘Маяк’. Среди голозерных форм наиболее крупное зерно (52,3–53,4 г) сформировали образ-

цы Нудум 155 и ‘Нудум 95’. В среднем голозерные формы ячменя по этому показателю практически не отличались от пленчатых.

Как известно, важное значение в использовании зерна на производство крупы и других продуктов питания имеет величина его натуры. Этот показатель обусловлен в основном условиями выращивания растений и уровнем содержания питательных веществ в почве (Svirikova et al., 2019). Как показали полученные результаты, все образцы имели сравнительно высокую натуру зерна, свыше 550 г/л (см. табл. 3). Максимальной величиной характеризовались сорт новосибирской селекции ‘Танай’ и образец NS GL 1 из Югославии. При этом голозерные формы ячменя отличались более высокой натурой зерна относительно пленчатых. В среднем в зависимости от генотипа и условий года значение этого показателя зерна варьировало у голозерных образцов в пределах 731–872 г/л, у пленчатых – 608–719 г/л.

Интегрированным показателем продуктивности сортов является его урожайность (Creissen et al., 2016). Высокую продуктивность сформировали сорта сибирской селекции ‘Колчан’, ‘Ворсинский 2’ (к-31109, Алтайский край), ‘Талан’, ‘Тарский 3’, ‘Абалак’ и канадский сорт – ‘AC Albright’ (см. табл. 3). В отличие от показателей качества зерна, по которым голозерные формы превышали пленчатые, по уровню урожайности первые заметно уступили. По нашему мнению, пониженная продуктивность голозерных ячменей обусловлена главным образом меньшей озерненностью колоса и слабой продуктивной кустистостью.

В процессе исследований были рассчитаны коэффициенты корреляции между биохимическими, физическими и продукционными показателями зерна различных образцов ячменя. Из данных, представленных в таблице 4, можно видеть наличие существенных положительных связей между массой 1000 зерен, с одной стороны, и содержанием в них β -глюканов и белка, с другой. В последнем случае эффект найден лишь у пленчатых форм.

Оценка изучаемых образцов ячменя по различным показателям позволила провести их ранжирование по комплексу хозяйственно-полезных признаков. Полученные результаты приведены по трем лучшим по каждому признаку образцам ячменя в таблице 5. Отмечено, что по содержанию β -глюканов в зерне, скороспелости и урожайности лучшим для селекции ячменя кормового направления оказался сорт омской селекции ‘Тарский 3’. Для дальнейшей селекции ячменя крупяного направления на повышенный уровень β -глюканов и белка в зерне можно рекомендовать использование двух голозерных образцов Нудум 155 (Украина) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.).

Полученные нами данные о содержании β -глюканов в зерне подтвердили известный факт, свидетельствующий о том, что высокопродуктивные образцы характеризуются пониженным качеством по сравнению с менее урожайными. Зарегистрированный результат отрицательной (и неустойчивой) корреляции между уровнем β -глюканов в зерне ячменя и величиной его урожая согласуется с выводами Э. Ханга с коллегами (Hang et al., 2007). Следует отметить, что по минимальному содержанию β -глюканов в зерне выделились преимущественно шестирядные образцы ‘Тарский 3’, ‘AC Albright’, из двурядных – сорт ‘Маяк’. При этом ценность шестирядных сортов для фуражного использования ячменя заключается в комплексном использовании зерна и зеленой массы особенно гладкоостых сортов, что повышает их кор-

Таблица 2. Биохимические показатели зерна ячменя образцов коллекции ВИР
(средние данные за 2016–2018 гг.)**Table 2. Biochemical indicators of barley grain in the germplasm accessions from VIR (averaged data for 2016–2018)**

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название образца / Accession name	Содержание в зерне, % / Content, %			
		белка / protein		β-глюканов / β-glucans	
		$\bar{X}$	Cv	$\bar{X}$	Cv
Пленчатые образцы / Hulled barley accessions					
30243	Ача (стандарт) / Acha (reference)	13,95	2,8	4,51	10,4
30984	Биом / Biom	15,30	4,3	3,89	14,0
–	Танай / Tanay	15,01	1,3	4,15	13,0
46502	Талан / Talan	13,69	2,7	4,14	6,4
30245	Соболек / Sobolek	12,33	9,7	3,68	8,1
27102	Красноярский 80 / Krasnoyarsky 80	14,36	10,1	3,92	3,8
–	Емеля / Yemelya	13,93	8,5	3,56	5,5
29622	Маяк / Mayak	14,70	10,8	3,43	7,0
–	Абалак / Abalak	13,63	5,4	4,30	13,9
30977	Омский 96 / Omsky 96	14,15	8,0	3,77	11,9
30719	Тарский 3 / Tarsky 3	13,21	8,5	3,18	8,0
30845	Золотник / Zolotnik	15,04	6,3	4,38	14,7
31039	Колчан / Kolchan	12,59	8,2	3,99	9,3
31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	13,73	18,3	4,03	22,8
–	Салаир / Salair	13,38	14,2	4,42	5,0
30970	Княжич / Knyazhich	14,95	7,4	3,97	6,6
30451	Зерноградец 770 / Zernogradets 770	13,29	6,6	3,80	6,5
30599	АС Albright	13,88	6,7	3,39	9,4
Среднее по группе / Group average		13,95	7,8	3,92	9,79
НСР ₀₅		1,30		0,40	
Голозерные образцы / Naked barley accessions					
30919	Омский голозерный 1 (стандарт) / Omsky golozerny 1 (reference)	15,76	6,6	4,30	10,1
27471	Korona Laschego	14,68	8,6	3,81	8,7
30167	CDC Richard	14,13	7,3	3,83	13,6
31108	CDC McGuire	13,89	8,1	4,08	10,1
30956	NS GL 1	16,46	2,9	4,53	9,9
13328	Нудум 155 / Nudum 155	16,63	5,3	5,06	16,5
29453	Нудум 7566 / Nudum 7566	18,36	2,3	4,27	14,4
31125	Нудум 95 / Nudum 95	17,80	8,0	5,21	4,9
Среднее по группе / Group average		15,96	6,1	4,39	11,0
НСР ₀₅		0,97		0,40	

Примечание: НСР₀₅ – наименьшая существенная разница
 Note: НСР₀₅ – the lowest significant difference

Таблица 3. Физические показатели зерна и продуктивность различных образцов ячменя (средние данные за три года)**Table 3. Physical indicators of grain and productivity of various barley accessions (averaged data for three years)**

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название образца / Accession name	Вегетационный период, дней / Growing season, days		Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g		Натура зерна, г/л / Test weight, g/l		Урожайность, г/м² / Yield, g/m²	
		$\bar{X}$	Cv	$\bar{X}$	Cv	$\bar{X}$	Cv	$\bar{X}$	Cv
Пленчатые образцы / Hulled barley accessions									
30243	Ача (стандарт) / Acha (reference)	76	3,3	45,4	6,3	706	10,3	499	37,8
30984	Биом / Biom	71	5,7	49,2	4,5	694	12,5	438	16,9
–	Танай / Tanay	76	3,1	47,2	11,4	719	11,6	446	31,8
46502	Талан / Talan	75	4,6	45,2	5,9	704	11,3	584	18,1
30245	Соболек / Sobolek	71	6,9	36,4	8,1	632	7,0	437	39,3
27102	Красноярский 80 / Krasnoyarsky 80	77	4,9	50,3	2,3	667	6,7	444	36,2
–	Емеля / Yemelya	74	6,6	36,8	2,0	608	6,6	474	53,7
29622	Маяк / Mayak	75	5,5	51,4	12,5	635	7,4	492	39,6
–	Абалак / Abalak	73	4,1	48,0	7,2	682	14,1	554	31,9
30977	Омский 96 / Omsky 96	74	7,0	49,5	1,0	655	6,2	423	23,1
30719	Тарский 3 / Tarsky 3	68	6,6	33,5	11,1	639	6,3	562	13,6
30845	Золотник / Zolotnik	72	5,0	49,3	4,5	645	7,4	512	35,8
31039	Колчан / Kolchan	70	9,3	40,2	9,7	584	8,6	576	41,8
31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	75	4,8	43,0	7,2	679	18,3	578	29,3
–	Салаир / Salair	75	3,1	46,3	5,6	695	10,1	488	27,4
30970	Княжич / Knyazhich	73	4,4	43,9	6,5	696	12,4	386	16,7
30451	Зерноградец 770 / Zernogradets 770	79	4,4	44,6	4,2	673	7,9	453	43,4
30599	AC Albright	72	11,6	34,2	9,7	663	4,6	528	40,2
	Среднее по группе / Group average	74		44,1		665		494	
	HCP ₀₅	4		3,6		54		47	
Голозерные образцы / Naked barley accessions									
30919	Омский голозерный 1 (стандарт) / Omsky golozerny 1 (reference)	77	2,0	45,2	5,3	846	6,5	413	10,3
27471	Korona Laschego	78	6,0	34,0	13,6	731	12,3	312	19,4
30167	CDC Richard	77	5,2	38,4	6,5	736	11,6	370	60,1
31108	CDC McGuire	82	2,8	37,9	3,7	821	1,8	437	71,5
30956	NS GL 1	77	4,7	39,4	5,9	872	10,0	356	8,2
13328	Нудум 155 / Nudum 155	73	1,4	53,4	7,7	773	5,4	260	50,0
29453	Нудум 7566 / Nudum 7566	80	4,3	48,1	6,7	775	4,7	254	72,4
31125	Нудум 95 / Nudum 95	79	4,5	52,3	3,4	790	7,5	276	38,0
Среднее по группе / Group average		78		43,6		793		335	41,2
HCP ₀₅		5		4,0		111		31	

Примечание: HCP₀₅ – наименьшая существенная разница
 Note: HCP₀₅ – the lowest significant difference

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции между физическими, химическими и продукционными показателями зерна ячменя (средние данные за три года)**Table 4.** Correlation coefficients between physical, chemical and production parameters in barley accessions (averaged data for three years)

Параметры зерна / Grain parameters	Содержание белка / Protein content	Содержание β-глюканов / β-glucan content	Вегетационный период / Growing season	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	Натура зерна / Test weight	Урожайность / Yield
Содержание белка / Protein content	-					
Содержание β-глюканов / β-glucans content	0,158 0,688	-				
Вегетационный период / Growing season	0,177 -0,153	0,348 -0,441	-			
Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	0,601* 0,773	0,535* 0,861*	0,502 -0,406	-		
Натура зерна / Test weight	0,441 0,160	0,517 0,284	0,448 0,075	0,417 0,073	-	
Урожайность / Yield	-0,463 -0,746	0,040 -0,512	-0,305 0,357	-0,314 -0,602	-0,225 0,452	-

Примечание: числитель – пленчатые образцы, знаменатель – голозерные;

* – значение коэффициента корреляции существенно при $p \leq 0,05$

Note: numerator – hulled accessions; denominator – naked accessions;

* – correlation coefficients are statistically significant at $p \leq 0.05$ **Таблица 5.** Ранжирование образцов ячменя по содержанию β-глюканов в зерне и другим ценным химическим, физическим и продукционным признакам**Table 5.** Ranking of barley accessions according to their β-glucan content and other parameters important for production and breeding practice

Содержание / Content			Вегетационный период / Growing season	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	М - Натура / M - Test weight	М - Урожайность / M - Yield
М* Белка / M Protein	М β-глюканов / M β-glucans	м β-глюканов / m β-glucans				
Нудум 155 / Nudum 155	Нудум 155 / Nudum 155	АС Albright	Колчан / Kolchan	Нудум 155 / Nudum 155	NS GL 1	Талан / Talan
Нудум 7566 / Nudum 7566		Маяк / Mayak		Маяк / Mayak	Омский голозерный 1 / Omsky golozerly 1	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2
Нудум 95 / Nudum 95	Нудум 95 / Nudum 95	Тарский 3 / Tarsky 3	Тарский 3 / Tarsky 3	Нудум 95 / Nudum 95		Тарский 3 / Tarsky 3

Примечание: *М – максимальное значение, м – минимальное значение показателя

Note: *M – maximum; m – minimum

мовые достоинства при кормлении сельскохозяйственных животных.

Результаты анализа корреляционных связей между содержанием ценных химических веществ в зерне ячменя в разные годы его выращивания приведены в таблице 6. Видно, что для пленчатых образцов характерна высокая величина коэффициента корреляции между содержанием β -глюканов, а также среднее его значение между содержанием белка в зерне по годам выращивания. При этом для голозерных сортов установлена существенная связь как между содержанием β -глюканов, так и содержанием белка в зерне практически во все годы выращивания ячменя.

Таблица 6. Значения коэффициентов корреляции между содержанием белка или β -глюканов в зерне образцов ячменя, выращенных в разные годы

Table 6. Correlation coefficients between protein or β -glucan contents in barley accessions grown in different years

Показатель / Grain parameters	Коэффициенты корреляции по годам / Correlation coefficients of accessions by years		
	2016 и 2017 / 2016 vs. 2017	2017 и 2018 / 2017 vs. 2018	2016 и 2018 / 2016 vs. 2018
Содержание белка / Protein content	0,391 0,918*	0,724 0,889*	0,226 0,969*
Содержание β -глюканов / β -glucan content	0,621* 0,737	0,839* 0,898*	0,700* 0,799*

Примечание: числитель – пленчатые образцы, знаменатель – голозерные;

* – значение коэффициента корреляции существенно при $p \leq 0,05$

Note: numerator – hulled accessions; denominator – naked accessions;

* – correlation coefficients are statistically significant at $p \leq 0.05$

Обсуждение

В работе отмечен широкий спектр генотипической изменчивости по содержанию β -глюканов в зерне изучаемых образцов ячменя (от 3,18 до 5,21%), выращиваемых в условиях Восточной Сибири в течение трех лет. Выявлено несущественное преимущество по данному химическому показателю голозерных образцов перед пленчатыми в среднем по группе на 10,7%. По минимальному значению рассматриваемого качественного показателя нами выделены сорта сибирской селекции – ‘Маяк’ (Красноярский край), ‘Тарский 3’ (Омская обл.), и сорт ‘AC Albright’ (Канада), по максимальному – голозерные образцы Нудум 155 (Украина) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.). Согласно литературным данным (Navrlentová et al., 2008), обнаружено более высокое содержание β -глюканов в зерне также и у голозерных форм овса.

В наших опытах было установлено, что содержание белка в зерне ячменя в среднем на 12,6% ниже у пленчатых форм по сравнению с голозерными ячменями, что согласуется с данными по овсу, полученными ранее другими авторами (Biel et al., 2009). Наибольшая концентрация белка была выявлена у голозерных образцов Нудум 155 (Украина), Нудум 7566 (Киргизия) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.). При этом одновременно высоким содержанием β -глюканов и белка в зерне характеризовались образцы Нудум 155 (Украина) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.).

Создание скороспелых сортов зерновых культур является одной из главных проблем отечественного растениеводства. Это особенно актуально для условий Восточной Сибири с ее коротким вегетационным пери-

одом. Тем более что скороспелые сорта характеризуются более интенсивным уровнем накопления белка. Скороспелость сортов в сочетании с их адаптивными свойствами постоянно находится в центре внимания сибирских селекционеров (Surin, 2011, Surin et al., 2018). По итогам проведенных исследований нами выделены образцы, сочетающие в себе скороспелость и повышенную урожайность – ‘Тарский 3’ (Омская обл.), ‘Колчан’, ‘Золотник’ (Алтайский край.), ‘Абалак’ (Красноярский край., Тюменская обл.), ‘AC Albright’ (Канада).

По максимальному значению признака «масса 1000 зерен» среди пленчатых форм выделился сорт ‘Маяк’, а среди голозерных образцов – Нудум 155 и ‘Нудум 95’.

В работе была установлена существенная положительная связь между содержанием β -глюканов и массой 1000 зерен как у голозерных, так и пленчатых форм ячменя. Выявленная закономерность может служить косвенным показателем первичного скрининга образцов ячменя на различное содержание β -глюканов в зерне без использования дорогостоящего лабораторного оборудования и химических реактивов. В поддержку этого эффекта следует отметить недавно продемонстрированную в литературе существенную положительную связь между содержанием β -глюканов и величиной плотности лишенного пленок зерна овса. Предложен способ оценки генотипов по этому признаку качества зерна (Polonskiy et al., 2020). Вместе с тем некоторые авторы, работая с голозерными формами ячменя, пришли к заключению о неустойчивой корреляции между содержанием β -глюканов и массой 1000 зерен (Yalçin et al., 2007), что, по-видимому, связано с выбором конкретных генотипов и условиями выращивания растений.

В работе была зарегистрирована тесная положительная связь между содержанием β -глюканов в зерне как пленчатых, так и голозерных форм в разные годы выращивания. Такой же эффект отмечен у голозерных образцов ячменя между содержанием белка в зерне. По нашему мнению, это может означать, что при возделывании ячменя в разные годы содержание β -глюканов (для обеих форм) и белка (для голозерных форм) в зерне у образцов изменяется практически синхронно, то есть ранжирование генотипов по уровню рассматриваемых химических соединений в зерне в зависимости от года выращивания практически не нарушается. Найденная высокая

значимая корреляция между содержанием β -глюканов в зерне пленчатых и голозерных образцов ячменя по годам выращивания подтверждает высокую зависимость этого химического показателя от генотипа. Ранее нами были получены аналогичные результаты на пленчатых образцах овса (Polonskiy et al., 2019). Другими авторами также было показано решающее значение генетического фактора в изменении количества β -глюканов в зерне (Rey et al., 2009; Redaelli et al., 2013). Указанный экспериментальный факт свидетельствует о реальной возможности успешного ведения селекции ячменя по данному показателю качества зерна.

В результате выполненного исследования нами не было выявлено существенного преимущества голозерных образцов по сравнению с пленчатыми в содержании β -глюканов в зерне, наблюдалась лишь положительная тенденция, что согласуется с мнением С. Griffey et al. (2010). Следует подчеркнуть, что отдельные голозерные формы имели преимущество по комплексу качественных признаков, одновременно включая повышенное содержание β -глюканов, белка, высокие значения массы 1000 зерен и натуры.

Заключение

Проведенная в условиях Восточной Сибири комплексная оценка по показателям качества зерна и продуктивности позволила выделить перспективный исходный материал ячменя. В селекции на совершенствование сортов фуражного направления рекомендованы образцы с пониженным содержанием β -глюканов в зерне – ‘Маяк’ (к-29622, Красноярский край), ‘Тарский 3’ (к-30719, Омская обл.) и ‘АС Albright’ (к-30599, Канада), в селекции сортов крупяного назначения – с повышенным уровнем β -глюканов – ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.) и Нудум 155 (к-13328, Украина).

Работа выполнена по государственному заданию согласно тематическому плану ФИЦ КНЦ СО РАН, тема № 0356-2019-0042 «Создание для различных почвенно-климатических зон Красноярского края новых стрессоустойчивых сортов (яровой пшеницы, ячменя, овса, озимой ржи, гороха, плодовых и ягодных культур) и разработка технологий первичного и промышленного семеноводства новых сортов зерновых культур».

The work was carried out under the State Task according to the theme plan of Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the RAS, theme No. 0356-2019-0042 "Development of new stress-resistant cultivars for different soil and climate zones of Krasnoyarsk Territory (spring wheat, barley, oats, winter rye, peas, fruit and berry crops) and development of technologies for primary and industrial seed production of new cereal crop cultivars".

References / Литература

- Bedford M.R., Classen H.L., Campbell G.L. The effect of pelleting, salt, and pentosanase on the viscosity of intestinal contents and the performance of broilers feed rye. *Poultry Science*. 1991;70(7):1571-1577. DOI: 10.3382/ps.0701571
- Behall K.M., Scholfield D.J., Hallfrisch J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2004;80(5):1185-1193. DOI: 10.1093/ajcn/80.5.1185
- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(3):413-418. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.009
- Bozbulut R., Sanlier N. Promising effects of β -glucans on glycaemic control in diabetes. *Trends in Food Science and Technology*. 2019;83(1):159-166. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.11.018
- Creissen H.E., Jorgensen T.H., Brown J.K.M. Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Protection*. 2016;85:1-8. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.03.001
- Garkavy P.F., Pylneva P.N. Amino acid composition of grain in common and high-lysine forms of barley (Aminokislотноy sostav zerna obychnykh i vysokolizinyovykh form yachmenya). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1980;7:71-73. [in Russian] (Гаркавый П.Ф., Пыльнева П.Н. Аминокислотный состав зерна обычных и высоколизинных форм ячменя. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1980;7:71-73).
- Gerasimov S.A., Polonskiy V.I., Sumina A.V., Surin N.A., Lipshin A.G., Zute S.A. The influence of genotype and cultivation conditions of oats in the contents of biologically active components in grain. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2020;2:65-71. [in Russian] (Герасимов С.А., Полонский В.И., Сумина А.В., Сурин Н.А., Липшин А.Г., Зюте С.А. Влияние генотипа и условий выращивания овса на содержание биологически активных компонентов в зерне. *Химия растительного сырья*. 2020;2:65-71). DOI: 10.14258/jcprm.2020025515
- Griffey C., Brooks W., Kurantz M., Thomason W., Taylor F., Obert D. et al. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production. *Journal of Cereal Science*. 2010;51(1):41-49. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.09.004
- Hang A., Obert D., Gironella A.I.N., Burton C.S. Barley amylase and β -glucan: their relationships to protein, agronomic traits, and environmental factors. *Crop Science*. 2007;47(4):1754-1760. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0429
- Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In: M.J. Sadler (ed.). *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2014. p.25-45. DOI: 10.1533/9780857098481.2.25
- Havrlentová M., Bielíková M., Mendel L., Kraic J., Hozlár P. The correlation of (1-3)(1-4)-beta-D-glucan with some qualitative parameters in oat grain. *Polnohospodárstvo = Agriculture*. 2008;54(2):65-71.
- Kondratenko E.P., Konstantinova O.B., Soboleva O.M., Izhmulkina E.A., Verbitskaya N.V., Sukhikh A.S. The content of protein and amino acids in grain of winter crops growing on the territory of forest-steppe South-East of Western Siberia. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2015;3:143-150. [in Russian] (Кондратенко Е.П., Константинова О.Б., Соболева О.М., Измулкина Е.А., Вербицкая Н.В., Сухих А.С. Содержание белка и аминокислот в зерне озимых культур, произрастающих на территории лесостепи Юго-Востока Западной Сибири. *Химия растительного сырья*. 2015;3:143-150). DOI: 10.14258/jcprm.201503754
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of bar-

- ley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektzii 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).
- Loskutov I.G., Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobio-logy.2017.4.646rus
- Martínez M., Motilva M.J., López de Las Hazas M.C., Romero M-P, Vaculova K., Ludwig I.A. Phytochemical composition and β -glucan content of barley genotypes from two different geographic origins for human health food production. *Food Chemistry*. 2018;245(4):61-70. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.026
- Munck L. The revolutionary aspect of exploratory chemometric technology. Gylling, Denmark: Narayana Press; 2005.
- Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Evaluation of oat genotypes for the content of β -glucans in grain on the basis of its physical characteristics. *Agricultural Biology*. 2020;55(1):45-52. DOI: 10.15389/agrobio-logy.2020.1.45eng
- Polonskiy V.I., Sumina A.V. β -glucans content as a perspective trait in the barley breeding for foodstuff use (review). *Agricultural Biology*. 2013;5:30-43.
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):53-60. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6): 53-60). DOI 10.18699/VJ19.541
- Redaelli R., Del Frate V., Bellato S., Terracciano G., Ciccoritti R., Germeier C.U. et al. Genetic and environmental variability in total and soluble β -glucan in European oat genotypes. *Journal of Cereal Science*. 2013;57(2):193-199. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.09.003
- Rey J.I., Hayes P.M., Petrie S.E., Corey A., Flowers M., Ohm J.B. et al. Production of dryland barley for human food: quality and agronomic performance. *Crop Science*. 2009;49(1):347-355. DOI: 10.2135/cropsci2008.03.0184
- Sagnelli D., Chessa S., Mandalari G., Di Martino M., Sornedech W., Mamone G. et al. Low glycaemic index foods from wild barley and amylose-only barley lines. *Journal of Functional Foods*. 2018;40:408-416. DOI: 10.1016/j.jff.2017.11.028
- Shivus B., Gullord M. Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. *Animal Feed Science and Technology*. 2002;102(1-4):71-92. DOI: 10.1016/s0377-8401(02)00254-7
- Surin N.A. Adaptive potential of grain varieties of Siberian breeding and ways of its improvement (wheat, barley, oats): a monograph (Adaptivny potentsial sortov zernovykh kultur sibirskoy selektsii i puti yego sovershenstvovaniya [pshenitsa, yachmen, oves]: monografiya). Novosibirsk; 2011. [in Russian] (Сурин Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес): монография. Новосибирск; 2011).
- Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Evaluation of collection samples of spring barley in the breeding on productivity and quality of grain under conditions of Eastern Siberia. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(5):41-44. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Оценка коллекционных образцов ярового ячменя при селекции на продуктивность и качество зерна в условиях Восточной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(5):41-44). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10510
- Svirskova S.V., Zaushintsena A.V., Startsev A.A. Oat immunity is a factor in protecting plants from diseases: a monograph (Immunitet ovsa – faktor zashchity rasteniy ot bolezney: monografiya). Kemerovo; 2016. [in Russian] (Свиркова С.В., Заушинцева А.В., Старцев А.А. Иммуни-тет овса – фактор защиты растений от болезней: монография. Кемерово; 2016).
- Walker C.K., Panozzo J.F. Development of a small scale method to determine volume and density of individual barley kernels, and the relationship between grain density and endosperm hardness. *Journal of Cereal Science*. 2011;54(3):311-316. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.06.008
- Yalçin E., Çelik S., Akar T., Sayim I., Köksel H. Effects of genotype and environment on β -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chemistry*. 2007;101(1):171-176. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.01.010
- Zhu F., Du B., Xu B. A critical review on production and industrial applications of beta-glucans. *Food Hydrocolloids*. 2016;52(2):275-288. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.07.003

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С.А. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58

Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S.A. Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-48-58>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Polonskiy V.I. <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>
Surin N.A. <https://orcid.org/0000-0003-3866-6679>
Gerasimov S.A. <https://orcid.org/0000-0003-1273-3212>
Lipshin A.G. <https://orcid.org/0000-0003-0536-3452>
Sumina A.V. <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>
Zute S.A. <https://orcid.org/0000-0001-5523-1111>

Результаты изучения образцов рода Житняк (*Agropyron* Gaertn.) из мировой коллекции генетических ресурсов растений ВИР в условиях Якутии

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-59-71

УДК 631:633.28

Поступление/Received: 01.01.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

В. М. КОРЯКИНА¹, А. А. КОЧЕГИНА²

¹ Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, 677001 Россия, г. Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1
✉ korvenmich@gmail.com

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ akochegina@rambler.ru

Results of studying wheatgrass (*Agropyron* Gaertn.) accessions from the VIR global genetic resources collection in Yakutia

V. M. KORYAKINA¹, A. A. KOCHEGINA²

¹ M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, 23/1 Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk 677001, Russia
✉ korvenmich@gmail.com

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190031, Russia
✉ akochegina@rambler.ru

В условиях меняющегося климата планеты исследователи стремятся использовать в селекционно-генетических программах растения, способные расти в экстремальных почвенно-климатических условиях. Как кормовая культура для этих целей наиболее приспособлен житняк из рода *Agropyron* Gaertn., температурный ареал распространения которого лежит в пределах от +42 (аридная зона) до –60°C (Верхоянск). Использование разных видов житняка как культуры для аридных условий довольно хорошо изучено в США, Канаде, России, Казахстане. Генетическое и селекционное изучение житняка развивается в разных странах мира. В Якутии с резко континентальным климатом житняк в культуру еще не введен, хотя мог бы найти широкое применение для создания прочной кормовой базы.

Целью работы являлось изучение и отбор исходного перспективного селекционного материала житняка, выявление образцов по наиболее ценным хозяйственным признакам. В результате двухлетнего изучения 19 образцов разных видов житняка мировой коллекции ВИР, впервые проведенного в 2018 и 2019 г. в коллекционном питомнике в Центральной Якутии, выделились ценные образцы, превышающие среднее по урожайности зеленой массы по двум укосам: к-52382 – житняк гребневидный из Павлодарской области (Казахстан) – на 43% и к-48705 – житняк керченский – на 40%. По урожайности сухой кормовой массы (прибавка 40,2% к среднему), а также по сумме двух укосов по урожаю зеленой и сухой кормовой массы выделился образец житняка гребневидного к-52382 (212,7 г/растение).

По высокой урожайности семян выделились образцы к-52440 житняк сибирский из Ставропольского края – 43,5 г/м² и к-51330 житняк гребневидный из Челябинской области – 41,7 г/м². По содержанию сырого и переваримого протеина выделились образцы: житняк гребневидный: сорт 'Ephraim', США (к-50857) – 14,6% и 99 г/кг корма соответственно, житняк сибирский: сорт 'Vavilov II', США (к-50858) – 14,2% и 96 г/кг корма. Зимостойкость 12 образцов оказалась 100%, у 7 образцов – 80%.

Ключевые слова: виды житняка, мировая коллекция ВИР, климатические условия, зимостойкость, урожайность, сырой и переваримый протеин.

With the globally changing climate, researchers seek to use plants adapted to extreme environments in breeding and genetic programs. As a forage crop, the wheatgrass from the genus *Agropyron* Gaertn. is most suitable for such purposes. The area of temperature distribution for wheatgrass lies in the range from +42 (arid zone) to –60°C (Verkhoyansk). The use of different wheatgrass species as a crop for arid conditions is quite profoundly studied in the USA, Canada, Russia, and Kazakhstan. Genetic and breeding studies are underway in different countries. In Yakutia, with its extremely continental climate, wheatgrass has not yet been introduced as a crop, although it could play an important role in establishing a sustainable fodder reserve.

The aim of the work was to study and select promising breeding source material, identifying germplasm with the best agronomic traits. As a result of a two-year study of 19 accessions of different wheatgrass species from the collection of VIR, undertaken in 2018 and 2019 in the collection nursery in Central Yakutia, plant forms were selected that exceeded the average green biomass yield for two cuts: k-52382 (wild crested wheatgrass, Pavlodar Region, Kazakhstan) by 43%, and k-48705 (wild-growing Kerch wheatgrass) by 40%. Besides, wild wheatgrass accession k-52382 was identified for its dry matter yield (40.2% higher than the average) and for the total green and dry matter yield for the two cuts (212.7 g/plant).

Accessions k-52440 (wild Siberian wheatgrass, Stavropol Territory) and k-51330 (crested wheatgrass, Chelyabinsk Province) were selected for their high seed yield (43.5 g/m² and 41.7 g/m², respectively). The content of crude and digestible protein was the highest in k-50857 (crested wheatgrass cv. 'Ephraim', USA) and k-50858 (Siberian wheatgrass cv. 'Vavilov II', USA): 14.6% and 99 g/kg of feed, and 14.2% and 96 g/kg of feed, respectively. Winter hardiness of 12 accessions turned out to be 100%, with 80% in another 7 accessions.

Key words: wheatgrass species, the VIR global collection, climate conditions, winter hardiness, yield, green biomass, dry matter, crude and digestible protein.

Введение

Житняк является ценным засухоустойчивым многолетним аридным богарным кормовым злаком, введенным в культуру в конце XIX века на Валуиской опытной станции близ Саратова ученым агрономом В. С. Богданом. Отсюда семена житняка были взяты для изучения в США, а затем в Канаду, где были созданы первые сорта. В России работу с культурой житняка продолжили на Камышинской и Краснокутской опытных станциях, а также на Безенчукской и Приаральской опытных станциях в Казахстане. Первые отечественные сорта житняка были созданы на Краснокутской, а затем на Приаральской опытной станции ВИР (Bogdan, Moskalenko, 1940; Konstantinov, 1936; Velichko, 1981).

Культура житняка и природа его использования определяются его уникальными экологическими и биологическими свойствами, такими как ценное качество корма, высокая продуктивность, высокая засухо- и жароустойчивость, устойчивость к низким температурам и относительная солеустойчивость, устойчивость к вытаптыванию, продуктивное долголетие (12–15 лет и более), нетребовательность к плодородию почвы и присутствие симбиотической микрофлоры на корнях житняка, дающей возможность абсорбировать азот из воздуха. Все это позволяет культуре житняка не только занимать устойчивое положение в аридном кормопроизводстве, но и использоваться как эффективный фитомелиорант для повышения продуктивности деградированных почв (Shain, Karunin, 1950; Velichko, 1981; Sukharev et al., 2011; Kravtsov, 2009; Bukhteeva et al., 2016).

Житняк (*Agropyron* Gaertn.) относится к трибе Triticeae Dum. типового подсемейства семейства Poaceae Barnh. Это фестукоидный злак, распространенный в основном в северном полушарии, часто – в горах. Житняк – растение ксерофитного типа. Ареал видов рода находится в степной и пустынно-степной зонах Евразии на равнинах и горных склонах.

Житняки различаются по форме колоса, положению колосков в колосе, плотности колоса и другим признакам. В Евразии используют в культуре четыре вида: два ширококолосых – житняк гребенчатый – *A. cristatum* (L.) Beauv. s.l.) и житняк гребневидный – *A. cristatum* (L.) Beauv. subsp. *pectinatum* (Bieb.) Tsvet. (syn. *A. pectiniforme* Roem et Schult.) – и два узкоколосых – житняк сибирский, или песчаный, или житняк ломкий – *A. fragile* (Roth) Candargy (syn. *A. fragile* subsp. *sibiricum* (Willd.) Melderis), и житняк пустынный – *A. desertorum* (Fisch. ex Link.) Schult. В монографии, выполненной сотрудниками ВИР под руководством А. В. Бухтеевой на основе обобщения материалов по роду *Agropyron*, представлена таксономическая система рода (Bukhteeva et al., 2016). На территории России и сопредельных стран, по данным А. В. Бухтеевой, насчитывается 11 видов житняка и 13 подвидов. Названия таксонов в нашей работе приведены в соответствии с вышеприведенной монографией и едиными паспортными дескрипторами растений коллекции образцов житняка генбанка ВИР.

В естественной природе Якутии известно широкое распространение житняка гребенчатого по остепненным лугам, степным и каменисто-щебнистым склонам Арктического, Яно-Индиго-Ирского, Центрально-Якутского, Верхне-Ленского и Алданского флористических районов. Однако в культуру житняк в Республике Саха еще не введен (Koryakina, 2019).

Главной проблемой животноводства как основной отрасли сельскохозяйственного производства Республики Саха является низкая продуктивность сельскохозяйственных животных из-за нехватки кормов (Emelyanova, 2013). Одной из крупных сельскохозяйственных территорий, где содержится более 93,7% всего поголовья крупного рогатого скота и лошадей и заготавливается до 29–30% общереспубликанского объема сена, является район Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии. Луга и пастбища этого региона малопродуктивны из-за процессов деградации почв и требуют поверхностного и коренного улучшения с подсевом или посевом семян многолетних трав. Для этого необходимы высокопродуктивные сорта, приспособленные к суровым малоснежным зимам, недостатку атмосферных осадков и засоленности почвы. Поэтому селекционеры Якутского НИИ сельского хозяйства обратили внимание на житняк.

Селекционная работа с житняком началась в Якутском НИИ сельского хозяйства в 2014 г. с изучения десяти селекционных образцов житняка гребневидного и ж. сибирского, предоставленных Научно-производственным центром зернового хозяйства им. А.И. Бараева (Республика Казахстан). Были выделены перспективные для дальнейшего изучения образцы, среди них – сорт 'Батыр'. Для расширения исследований Якутскому НИИСХ требовались образцы из мировой коллекции генетических ресурсов ВИР из разных эколого-географических групп, а также зарубежные образцы, которые были специально отобраны нами для этих целей. Изучение образцов житняка из коллекции ВИР в условиях Якутии проводилось впервые.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований послужили образцы житняка, поступившие в коллекцию ВИР из пяти стран мира, в том числе Украины – 6 образцов, России – 4, США – 4, Казахстана – 3, Венгрии – 2. Мы распределили образцы по эколого-географическим группам (табл. 1). В таблице образцы представлены следующими видами и подвидами: житняк гребневидный, ж. гребенчатый, ж. сибирский, ж. керченский – *A. cimmericum* Nevski, ж. жестколистный – *A. cristatum* subsp. *sclerophyllum* Novopokr. В качестве стандарта был выбран сорт гребневидного житняка из Казахстана 'Батыр', поскольку он выделился в предыдущем изучении. Стандарт высевали через 10 образцов.

Краткая характеристика сорта-стандарта.

Сорт 'Батыр' выведен в НПЦ зернового хозяйства им. А.И. Бараева Республики Казахстан для сенокосного использования на обычных зональных почвах степной зоны. Формирует выровненный травостой с высотой стеблей 72 см, облиственностью до 41%. В период отрастания весной отличается интенсивным и мощным развитием надземной массы. Межфазный период вегетации от отрастания до укосной спелости (фаза начала цветения – 12–17 июня) составляет 48–65 дней, до созревания семян (22–25 июля) – 87–98 дней. Содержание протеина в сухом веществе – 11,7%, клетчатки – 29,2%, жира – 1,8%, золы – 6,0%, кормовых единиц – 0,68 кг/кг. Сорт 'Батыр' средневосприимчив к стеблевой и бурой ржавчине, устойчив к пыльной головне, отличается исключительно высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью. Районирован с 1992 г. по Акмолинской и Северо-Казахстанской областям (Filippova, 2017).

Таблица 1. Эколого-географическая характеристика, виды и всхожесть образцов житняка
Table 1. Ecogeographic characteristics, species and germination rates of wheatgrass accessions

№ по каталогу ВИР	Название образца	Происхождение	Эколого-географическая группа	Всхожесть, %
Житняк гребневидный				
к-47346	Батыр	ВНИИЗХ Сев. Казахстан	Казахстанская пустынно-степная	21,6
к-52382	дикорастущий	Павлодарская обл.	Казахстанская пустынно-степная	14,8
к-52380	дикорастущий	Павлодарская обл.	Казахстанская пустынно-степная	20,6
к-51330	дикорастущий	Челябинская обл.	Казахстанско-сибирская сухостепная	24,6
к-51768	дикорастущий	Донецкая обл.	Украинская степная	4,6
к-52357	дикорастущий	Донецкая обл.	Украинская степная	20,8
к-51363	дикорастущий	Украина	Причерноморская степная	67,0
к-51101	дикорастущий	Украина	Причерноморская степная	39,8
к-50857	Ephraim	США	Интродуцент, американский сенокосно-пастбищный сортотип	14,0
к-50889	дикорастущий	Венгрия	Причерноморская степная	3,6
к-46167	дикорастущий	Крымская обл.	Крымская	26,0
Житняк керченский				
к-48705	дикорастущий	Украина	Крымская	27,4
Житняк жестколистный				
к-51604	дикорастущий	Краснодарский край	Причерноморская степная	19,6
Житняк гребенчатый				
к-50974	Петровский	Украина	Украинская степная	68,8
к-49171	дикорастущий	Алтайский край	Восточносибирская	28,4
Житняк сибирский				
к-50858	Vavilov II	США	Казахстанская пустынно-степная	6,8
к-52440	дикорастущий	Ставропольский край	Восточноевропейская степная	5,6
Зарубежные гибриды ж. гребневидный × ж. пустынный				
к-46937	Hycrest	США	Интродуцент, американский сенокосно-пастбищный сортотип	1,6
к-48559	Hycrest II	США	Интродуцент, американский сенокосно-пастбищный сортотип	7,0

Исследования проводили в 2018 и 2019 г. в условиях второй надпойменной террасы долины реки Лена Хангаласского улуса Центральной Якутии на полевом стационаре лаборатории селекции и семеноводства кормовых культур Якутского НИИ сельского хозяйства в условиях естественного увлажнения. Стационар расположен в 60 км к юго-западу от Якутска, между поселком Ой и г. Покровск. Метеорологические данные приведены для Центральной метеостанции в г. Якутске для оценки средних температурных изменений за десятилетие в сопоставлении с данными за 2018 и 2019 г. Кроме того,

приведены метеорологические данные за вегетационный период 2018 и 2019 г. по данным метеостанции в г. Покровске.

Почва опытного участка мерзлотно-таежная, палевая, осолодевшая, среднесуглинистая, старопашотная, окультуренная, в слое 0–30 см характеризуется очень низким содержанием гумуса (1,87%). Содержание нитратного азота – 3,58–14,74 мг на 100 г почвы.

Работы проведены по общепринятым методикам «Изучение коллекции многолетних кормовых растений (методические указания)» (Study of the collection..., 1985);

«Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых трав» (Guidelines..., 1975). Лабораторные исследования выполняли на базе лаборатории биохимии и массовых анализов с использованием спектрального анализатора NIR SCANNER mo LCE 4250.

Фенологические наблюдения за развитием трав проводили по всем вариантам опытов. Начало наступления фазы отмечали, когда в данную фазу вступало 10%, а полное наступление – 75% растений. Динамика прироста надземной растительной массы и биометрические параметры определяли путем взвешивания срезанных растений в поле и в фазах «кущение», «выход в трубку», «цветение». Учет фактического урожая трав определяли с площади всей делянки с пересчетом на 100% чистоту и 16% влажность согласно ГОСТ 27548-97.

Данные результатов исследований подвергали математической обработке методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову (Dospikhov, 1985) и компьютерной обработке с помощью программ Microsoft Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение

Метеорологические условия.

Сумма температур воздуха за активный период вегетации растений (90–95 дней) в Центральной Якутии за средний многолетний период составляет 1200–1600°C, продолжительность безморозного периода на поверхности почвы – 66–95 дней (Emelyanova, 2013).

Ограничивающие факторы возделывания в Якутии: ультракороткий безморозный период (65–71 день) и короткое засушливое лето с минимальным количеством осадков (110–150 мм), которые выпадают чаще всего в осенние месяцы. В начале вегетации обычно стоит сухая ветреная погода, что создает сложные условия для нормального роста и развития растений.

Особенностью климата Якутии является исключительно быстрый переход от зимы к лету (переход среднесуточных температур от 0 до 5°C) за 11–14 дней. Быстрое нарастание положительных температур способствует интенсивному отрастанию зеленой массы.

На графике (рис. 1) показаны среднемесячные температурные изменения по средним данным за 2000–2010 гг., а также температурные изменения за 2018 и 2019 г. по Центральной Якутской метеостанции. Как видно из графика, наблюдается тенденция на потепление с апреля по июнь. В апреле отмечается более раннее пробуждение растений. При анализе среднемесячных многолетних температурных данных в г. Покровске (близ полевого стационара) и в г. Якутске в вегетационный сезон (табл. 2) данные оказались сопоставимы. В начале и середине вегетационного периода (апрель – июнь) в Покровске температура на 0,1–0,3°C выше, а в середине и конце периода (июль – октябрь) на 0,2–1,2°C ниже, чем в Якутске.

Как отмечают исследователи, для растений большое значение имеет не общая суммарная продолжительность вегетационного периода, а время наступления отдельных фенологических фаз. Вегетационный период 2018 г. характеризовался ранней теплой весной, жарким летним периодом с неравномерным распределением осадков и теплой продолжительной осенью с малым количеством осадков. Май был теплее обычного, с обильными дождями: выпало 173% осадков летней нормы (табл. 3, рис. 2).

Последние заморозки отмечены только во второй декаде мая (–5,4°C). Июнь жаркий и сухой, с крайне неравномерным выпадением осадков. В начале июня стояла теплая и сухая погода. Среднедекадная температура равна 15,2°C (среднемноголетняя 11,9°C), без осадков. Дожди начались со второй декады июня, что благоприятно повлияло на рост и развитие растений.

Весна 2019 г. была ранней, достаточно теплой, на 2°C выше средних многолетних данных, что благоприятно отразилось на начале роста растений. Среднемесячная температура воздуха в мае составила от +3 до +6°C, осадков выпало 14,6 мм. Ледоход на р. Лена под г. Покровск отмечен 16 мая. Июнь характеризовался теплой погодой, среднемесячная температура была в пределах от +14 до +16°C. Особенно теплыми выдались середина первой и конец второй декады месяца: дневная температура до-

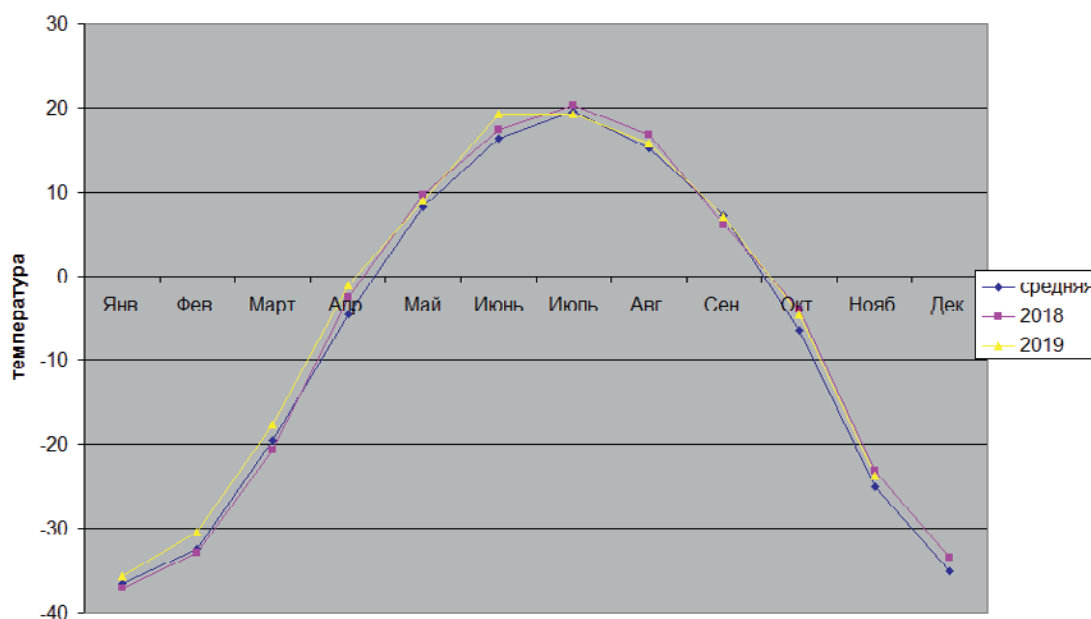


Рис. 1. График среднемесячных температурных изменений в Якутске

Fig. 1. Graph of mean monthly temperature changes in Yakutsk

Таблица 2. Сравнение температурных данных в Якутске и Покровске**Table 2. Comparison of temperatures in Yakutsk and Pokrovsk**

Месяцы	Средняя многолетняя температура в Покровске, °С	Средняя многолетняя температура в Якутске, °С	Δ средних многолетних температур, °С
апрель	-4,3	-4,6	0,3
май	8,3	8,2	0,1
июнь	16,6	16,4	0,2
июль	19	19,5	0,5
август	15	15,2	0,2
сентябрь	6	7,2	1,2
октябрь	-6,7	-6,5	0,2

Таблица 3. Метеорологические условия в г. Покровске в 2018–2019 гг.**Table 3. Meteorological conditions in Pokrovsk in 2018–2019**

Месяцы	Декады	Температура воздуха, °С				Осадки, мм		
		ср. декад. 2018 г.	max	min	ср. декад. 2019 г.	2018 г.	2019 г.	норма
Май	1	7,1	22,4	-7,1	4,1	7,0	6,3	4
	2	5,3	12,0	-5,4	9,9	21,0	2,2	6
	3	13,3	26,2	1,5	10,0	5,0	6,1	9
	месяц	8,7	26,2	-7,1	8,0	33,0	3,2	19
Июнь	1	15,2	25,9	1,4	15,4	0	0	10
	2	14,0	23,3	3,3	17,9	12,0	24,1	11
	3	17,2	25,4	10,2	18,6	11,0	26	16
	месяц	15,5	25,9	1,4	17,3	23,0	2,6	37
Июль	1	23,7	34,6	9,3	16,7	0	0	18
	2	17,9	28,9	2,8	19,8	18,0	24,9	15
	3	15,2	26,8	4,4	17,8	14,0	15,6	13
	месяц	18,8	34,6	2,8	18,1	32,0	5,2	46
Август	1	14,2	27,0	4,6	15,1	18,0	6,3	17
	2	16,8	26,1	4,4	15,3	34,0	2,2	14
	3	15,2	23,0	5,5	13,9	18,0	6,1	13
	месяц	15,4	27,0	4,4	14,8	70,0	3,2	44
Сентябрь	1	6,7	17,8	-2,3		7,0		
	2	5,2	16,0	-7,5		0,4		
	3	4,6	17,6	-6,8		0,4		
	месяц	5,5	17,8	-7,5		7,8		

стигала +30°C, осадков выпало 27,3 мм. Температура в июле и в августе была выше среднемноголетней нормы на +1–2°C. Осадков выпало в июле 28,6 мм, в августе – 45,7 мм (см. табл. 3; рис. 3). Таким образом, в течение двух лет вегетационный период был благоприятным для роста, развития и плодоношения житняка (рис. 4).

Фенология. Первый год наблюдений.

Коллекционный питомник житняка был заложен 28 мая 2018 г. широкоярдным способом. В коллекции были высеяны 22 образца разных эколого-географических групп, видов и подвидов (см. табл. 1). Начало всходов отмечено 15 июня у 13 образцов, полное –

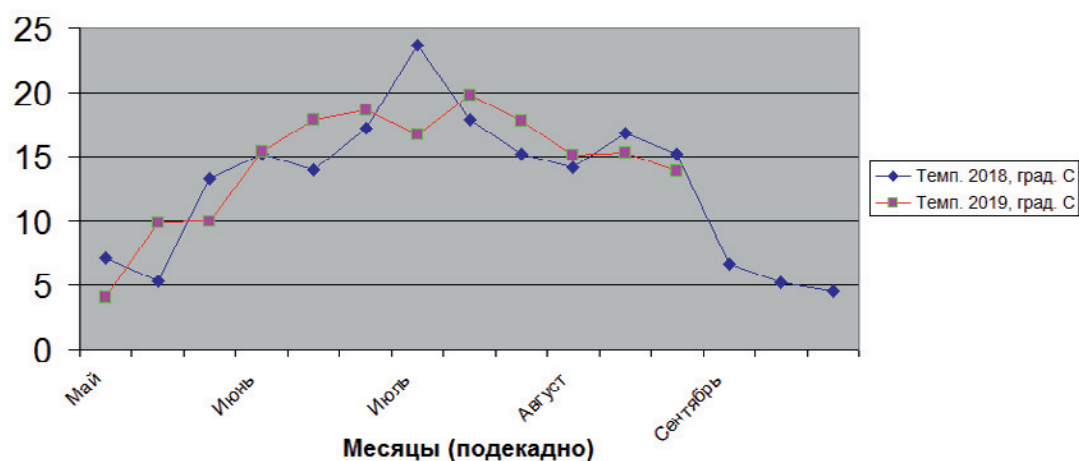


Рис. 2. Среднедекадная температура в г. Покровске в 2018–2019 гг.

Fig. 2. Mean ten-day temperatures in Pokrovsk in 2018–2019

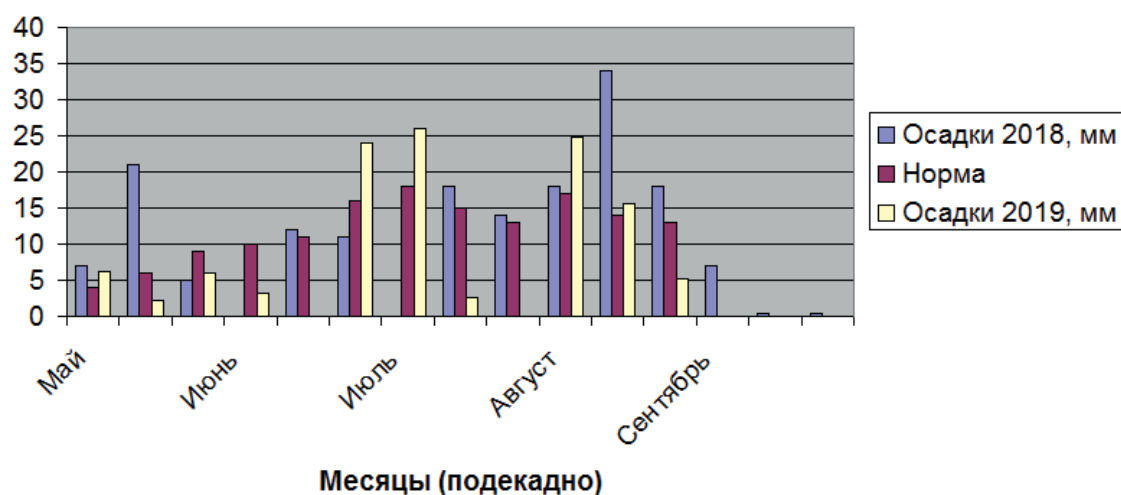


Рис. 3. Сравнительная гистограмма осадков в г. Покровске в 2018–2019 гг.

Fig. 3. Comparative histogram of rainfall in Pokrovsk in 2018–2019



Рис. 4. Сбор семян житняка в коллекционном питомнике в Центральной Якутии

Fig. 4. Harvesting wheatgrass seeds in the collection nursery in Central Yakutia, 2019

19 июня. Всходы отмечены только у 19 образцов и были неровные и изреженные. Процент полевой всхожести варьирует от 2 до 69 (см. табл. 1). У двух образцов житняка гребневидного из Украины (к-50974, к-51363) полевая всхожесть – 69% и 67% соответственно. У трех образцов житняка: к-45843 из Венгрии, к-35996 из Актюбинской области, к-35995 с Урала всходы не отмечены. Под зиму из изучаемых образцов житняка три ушли в фазе «выход в трубку», 16 образцов – в фазе «колошение».

Зимостойкость. Важная положительная особенность житняка – устойчивость к низким и высоким температурам воздуха и почвы. Житняк является одной из самых зимостойких многолетних кормовых культур. От промораживания страдают только молодые всходы. Для условий Якутии зимостойкость является важнейшим показателем устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Зимостойкость образцов определяли по состоянию изучаемых растений житняка осенью, перед уходом в зиму, и весной, в мае, после зимовки. По степени изреженности всходов на делянке судили о степени зимостойкости образцов. Отрастание растений в 2019 г. отмечено с 16 мая у всех образцов, кроме гибридного сорта 'Hycrest' из США (табл. 4).

У 12 образцов зимостойкость была 100%. За стандарт был принят казахский сорт 'Батыр' (к-47346), показавший 100-процентную зимостойкость и в ранее проведенных исследованиях с НПЦ им. А.И. Бараева. Высокую зимостойкость имели образцы житняка гребенчатого, образец к-50974, сорт 'Петровский' из Украины (гибридный сорт с участием канадского сорта 'Kirk') и дикорастущий образец к-49171 из Алтайского края, а также образцы житняка гребневидного разного происхождения (дикорастущие к-52382 и к-52380 из Павлодарской области, к-52357 из Донецкой области; к-51363 и к-51101, сорт 'Ephraim' сенокосно-пастбищного назначения из США). Высокая зимостойкость оказалась у дикорастущих образцов житняка жестколистного (к-51604) и житняка керченского (к-48705) из Краснодарского края. Стопроцентная зимостойкость отмечена у дикорастущего образца житняка сибирского (к-52440) из Ставропольского края. Остальные шесть образцов имели 80-процентную зимостойкость; в их числе – житняк сибирский к-50858 (сорт 'Vavilov II' из США, гибридный сорт 'Hycrest II' (к-48559) из США.

Фенология. Второй год изучения.

Продолжительность межфазных периодов вегетации в условиях Якутии является одним из важных показателей, определяющих урожай зеленой и сухой кормовой массы и семян. Отрастание растений в 2019 г. отмечено с 16 мая. Выход в трубку у образцов коллекции наблюдался в среднем через 13 дней, с 29 мая, за исключением сорта-стандарта 'Батыр', у которого выход в трубку наблюдался на два дня раньше, а также дикорастущего образца житняка гребневидного из Венгрии (к-50889), продолжительность этой фазы у которого оказалась на два дня более растянутой.

Колошение наблюдалось в среднем через 40 дней от отрастания у всех образцов, кроме сорта-стандарта (33 дня) и дикорастущего образца житняка гребневидного из Крымской области к-4617 (35 дней). Массовое цветение образцов произошло в среднем на 57-й день от отрастания. Сжатými сроками прохождения фазы «цветение» отличались образцы: сорт-стандарт

'Батыр' (42 дня), житняк гребневидный к-51769 из Донецкой области, житняк жестколистный к-51604, житняк сибирский сорт 'Vavilov II' к-50858 и гибридный сорт 'Hycrest II' к-48559 из США (53 дня), а также житняк керченский к-48705 (55 дней). Созревание семян наблюдалось на 90-й день у всех образцов коллекции.

Массовое цветение образцов произошло от 18 до 26 июня, первый укос проведен 26 июня во время цветения, второй укос – 12 августа (табл. 5).

Высота растений у всех изучаемых образцов в первом укосе варьировала от 50 до 90 см, во втором – от 51 до 110,5 см. Наиболее высокие показатели роста отмечены во втором укосе у гибрида житняка гребенчатого, сорт 'Петровский' из Украины (к-50974) – 110,5 см, и дикорастущего образца житняка гребневидного из Павлодарской области (к-52380) – 108,5 см. В среднем по двум укосам наиболее высокими показателями роста отличались эти же образцы – к-52380 (96,8 см) и сорт 'Петровский' (95,2 см). Близкие к этим показателям наблюдались у образцов из Казахстана, а также у житняка гребенчатого из Алтайского края (к-49171) и житняка керченского (к-4870).

Как показывает структура травостоя (табл. 6), в первом укосе преобладали генеративные побеги (в среднем до 38%), а во втором – вегетативные (в среднем до 57%). В среднем урожайность семян в 2019 г. составила 9,8 г/м². Высокая урожайность семян наблюдалась у житняка гребневидного к-51330 из Челябинской области (41,7 г/м²) а также у образца к-52380 из Казахстана (25,5 г/м²). Образец житняка сибирского к-52440 оказался самым продуктивным (43,5 г/м²), превысив сорт-стандарт в 5,3 раза.

Как видно из таблицы 7, по урожайности зеленой и сухой кормовой массы в первом укосе отмечены образцы: житняк керченский к-48705 – 90 и 24,5 г/растение соответственно и сорт-стандарт 'Батыр' – 85 и 30,3 г/растение. Кроме того, высокой продуктивностью отличались дикорастущие образцы житняка гребневидного из Казахстана к-52382 и к-52380. Во втором укосе зеленая масса уменьшается, но не у всех образцов. У житняка гребневидного к-51330 из Челябинской области кормовая масса увеличилась на 45%.

По сумме двух укосов по урожаю зеленой массы выделились образцы: к-52382 житняка гребневидного (143,8 г/растение), к-48705 житняка керченского (136,6 г/растение). По урожайности сухой кормовой массы за два укоса отмечен образец к-52382 житняка гребневидного из Казахстана (68,9 г/растение), что превышает среднюю урожайность в 2,9 раза, а сорт-стандарт 'Батыр' – на 45,1%. По сумме двух укосов по урожаю зеленой и сухой кормовой массы выделился тот же дикорастущий образец житняка гребневидного из Казахстана к-52382 (212,7 г/растение).

Оценку питательной ценности житняка проводили в абсолютно сухом веществе корма на первом году жизни в фазе кущения. Самое высокое содержание сырого протеина и переваримого протеина оказалось у образцов из США: сортов 'Ephraim' (к-50857) – 14,6% и 99 г соответственно и 'Vavilov II' (к-50858) – 14,2% и 96 г. Однако, сорт 'Vavilov II' имел зимостойкость 80%.

Высоким содержанием протеина (13,4–13,1%) отличались также образцы: дикорастущий житняк гребневидный к-50889 из Венгрии, к-52382 и к-52380 из Павлодарской области Казахстана, житняк керченский к-48705 и житняк жестколистный к-51604.

Таблица 4. Зимостойкость и продолжительность фенофаз образцов житняка в коллекционном питомнике в условиях Центральной Якутии, второй год изучения, посев 2018 г.

Table 4. Winter hardiness and phenophase duration of wheatgrass accessions in the collection nursery in Central Yakutia, the second year of study, sown in 2018

№ по каталогу ВИР	Название образца	Происхождение	Зимостойкость, %	Количество дней от отрастания до:			
				выхода в трубку	колошения	цветения	созревания
Житняк гребневидный							
47346	Батыр, st	Сев. Казахстан	100	11	33	42	90
52382	дикорастущий	Казахстан	100	13	40	57	90
52380	дикорастущий	Казахстан	100	13	40	57	90
51330	дикорастущий	Челябинская обл.	80	13	40	57	90
51768	дикорастущий	Донецкая обл.	80	13	40	53	90
52357	дикорастущий	Донецкая обл.	100	13	40	57	90
51363	дикорастущий	Украина	100	13	40	57	90
51101	дикорастущий	Украина	100	13	40	57	90
50857	Ephraim	США	100	13	40	57	90
50889	дикорастущий	Венгрия	80	15	40	57	90
46167	дикорастущий	Крымская обл.	80	13	35	57	90
Житняк керченский							
48705	дикорастущий	Украина	100	13	40	55	90
Житняк жестколистный							
51604	дикорастущий	Краснодарский край	100	13	40	53	90
Житняк гребенчатый							
50974	Петровский	Украина	100	13	40	57	90
49171	дикорастущий	Алтайский край	100	13	40	57	90
Житняк узкоколосый сибирский							
50858	Vavilov II	США	80	13	40	53	90
52440	дикорастущий	Ставропольский край	100	13	40	57	90
Зарубежные гибриды жс. гребневидный ×жс. пустынный							
к-46937	Hycrest	США	выпал				
к-48559	HycrestII	США	80	13	40	53	90

Таблица 5. Высота травостоя перед укосами в условиях Центральной Якутии, второй год изучения, посев 2018 г.**Table 5.** Height of wheatgrass stands before cutting in the environments of Central Yakutia, the second year of study, sown in 2018

№ по каталогу ВИР	Название образца	Происхождение	Высота, см		Среднее по двум укосам	% к среднему	% к стандарту
			1 укос	2 укос			
Житняк гребневидный							
47346	Батыр, st	Сев. Казахстан	84,0	93,0	88,5	111,9	100,0
52382	дикорастущий	Казахстан	90,0	86,7	88,3	109,2	99,8
52380	дикорастущий	Казахстан	85,2	108,5	96,8	117,7	109,4
51330	дикорастущий	Челябинская обл.	80,7	91,0	85,8	106,7	96,9
51768	дикорастущий	Донецкая обл.	72,2	83,2	77,7	98,6	87,8
52357	дикорастущий	Донецкая обл.	65,5	75,7	70,6	91,5	79,8
51363	дикорастущий	Украина	82,2	90,0	86,1	107,0	100,7
51101	дикорастущий	Украина	66,5	76,7	71,6	92,5	80,9
50857	Ephraim	США	68,7	75,0	71,8	92,7	81,1
50889	дикорастущий	Венгрия	50,0	51,0	50,5	71,4	57,1
46167	дикорастущий	Крымская обл.	70,5	80,0	75,2	96,1	85,0
Житняк керченский							
48705	дикорастущий	Украина	87,2	95,7	91,4	112,3	103,3
Житняк жестколистный							
51604	дикорастущий	Краснодарский край	67,0	72,0	69,5	90,4	78,5
Житняк гребенчатый							
50974	Петровский	Украина	80,0	110,5	95,2	116,1	107,6
49171	дикорастущий	Алтайский край	89,7	97,5	93,6	114,5	105,8
Житняк сибирский							
50858	Vavilov II	США	76,2	79,0	77,6	98,5	87,7
52440	дикорастущий	Ставропольский край	68,0	76,0	72,0	92,9	84,2
Зарубежные гибриды жс. гребневидный × жс. пустынный							
к-48559	Hycrest II	США	59,3	64,0	61,6	82,5	69,6
Среднее			74,6	83,6	79,1	111,9	
НСР ₀₅			12,6	14,1	16,7		

**Таблица 6. Структура травостоя и семенная продуктивность житняка в коллекционном питомнике (%);
Центральная Якутия, 2019 г, второй год изучения**

**Table 6. Structure of wheatgrass stands and seed yield in the collection nursery (%);
Central Yakutia, 2019, second year of study**

№ по каталогу ВИР	Название образца	Происхождение	Генеративные		Вегетативно удлинённые		Вегетативно укороченные		Урожай семян	
			1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	1 укос	2 укос	г/м ²	% к стандарту
Житняк гребневидный										
к-47346	Батыр, st	Казахстан	60	8	17	25	24	67	8,2	100,0
к-52382	дикорастущий	Казахстан	45	17	7	18	49	65	1,7	20,7
к-52380	дикорастущий	Казахстан	62		22		16		25,5	311,0
к-51330	дикорастущий	Челябинская обл.	30	23	20	30	50	47	41,7	508,5
к-51768	дикорастущий	Донецкая обл.	16		52	46	33	54	3,4	41,5
к-52357	дикорастущий	Донецкая обл.	23	11	43	38	35	51	6,5	79,3
к-51363	дикорастущий	Украина	24	19	52	40	24	41	0	0,0
к-51101	дикорастущий	Украина	23	16	34	35	42	49	2,1	25,6
к-50857	Ephraim	США	43	6	39	19	17	75	0,8	9,8
к-50889	дикорастущий	Венгрия	36		23	52	41	48	7,2	87,8
к-46167	дикорастущий	Крымская обл.	49	5	24	27	24	68	1,5	18,3
Житняк керченский										
к-48705	дикорастущий	Украина	52	15	21	30	26	55	18,7	228,0
Житняк жестколистный										
к-51604	дикорастущий	Краснодар-ский край	31	30	14	25	55	45	8,5	103,7
Житняк гребенчатый										
к-50974	Петровский	Украина	32	16	25	26	44	58	2,2	26,8
к-49171	дикорастущий	Алтайский край	21	6	22	31	58	63	0,1	1,2
Житняк сибирский										
к-50858	Vavilov II	США	47	11	18	39	35	50	2,0	24,4
к-52440	дикорастущий	Ставрополь-ский край	41		15	14	44	86	43,5	530,5
Зарубежные гибриды жс. гребневидный × жс. пустынный										
к-48559	Hycrest II	США	52	18	29	32	19	50	2,7	32,9
Среднее			38	14	27	31	35	57	9,8	

Таблица 7. Урожайность зеленой, сухой кормовой массы и питательная ценность образцов житняка в условиях Якутии, второй год изучения, посев 2018 г.

Table 7. Green biomass and dry matter yields of wheatgrass accessions and their nutritional value in the environments of Yakutia, the second year of study, sown in 2018

№ по каталогу ВИР	Название образца	Зеленая масса, г/растение				Сухая масса, г/растение				Сырой протеин, %	Переваримый протеин, г
		1 укос	2 укос	общее	% к стандарту	1 укос	2 укос	общее	% к стандарту		
Житняк гребневидный											
к-47346	Батыр, st	85,0	45,8	130,8	100,0	30,3	17,2	47,5	100,0	12,8	83,0
к-52382	дикорастущий	77,5	66,3	143,8	109,9	23,2	45,7	68,9	145,1	13,2	87,0
к-52380	дикорастущий	75,0		75,0	57,3	21,8		21,8	45,9	13,3	88,0
к-51330	дикорастущий	47,5	68,9	116,4	89,0	12,5	34,0	46,5	97,9	12,0	76,0
к-51768	дикорастущий	35,0	6,5	41,5	31,7	5,6	2,9	8,5	17,9	11,8	75,0
к-52357	дикорастущий	32,5	19,2	51,7	39,5	6,2	8,7	14,9	31,4	12,9	84,0
к-51363	дикорастущий	32,5	17,7	50,2	38,4	7,4	7,7	15,1	31,8	11,6	72,0
к-51101	дикорастущий	50,0	19,0	69,0	52,8	9,0	8,7	17,7	37,3	12,1	77,0
к-50857	Ephraim	17,5	2,7	20,2	15,4	5,9	1,4	7,3	15,4	14,6	99,0
к-50889	дикорастущий	20,0	5,6	25,6	19,6	7,0	2,4	9,4	19,8	13,4	89,0
к-46167	дикорастущий	42,5	23,0	65,5	50,1	3,6	8,6	12,2	25,7	13,0	85,0
Житняк керченский											
к-48705	дикорастущий	90,0	46,6	136,6	104,4	24,5	16,2	40,7	85,7	13,2	87,0
Житняк жестколистный											
к-51604	дикорастущий	57,5	24,5	82,0	62,7	10,6	9,3	19,9	41,9	13,1	86,0
Житняк гребенчатый											
к-50974	Петровский	40,0	23,8	63,8	48,8	10,7	14,4	25,1	52,8	12,8	83,0
к-49171	дикорастущий	60,0	48,4	108,4	82,9	6,3	15,5	21,8	45,9	12,4	80,0
Житняк сибирский											
к-50858	Vavilov II	57,5	14,9	72,4	55,4	16,9	6,1	23,0	48,4	14,2	96,0
к-52440	дикорастущий	35,0	2,9	37,9	29,0	7,3	0,2	7,5	15,8	12,1	77,0
Зарубежные гибриды жс. гребневидный × жс. пустынный											
к-48559	Hycrest II	42,5	22,3	64,8	49,5	10,8	10,1	20,9	44,0	11,9	75,0
Среднее		49,9	25,5	75,3	57,6	12,2	11,6	23,8	50,2	12,8	83,3
НСР ₀₅		33,4	31,4	43,1		12,3	13,6	16,2			

Заключение

При комплексном изучении биологических и хозяйственно ценных признаков образцов коллекции житняка, впервые проведенном в условиях жесткого континентального климата Центральной Якутии, в 2018–2019 гг. выделены образцы:

- 12 образцов со 100-процентной зимостойкостью: житняк гребенчатый (к-50974), сорт 'Петровский' (к-50974 из Украины, гибридный сорт с участием канадского сорта 'Kirk') и дикорастущий образец к-49171 из Алтайского края; дикорастущие образцы житняка гребневидного разного происхождения (к-52382 и к-52380) из Павлодарской области; образцы к-52357, к-51363 и к-51101 из Украины, сорт 'Ephraim' (к-50857) сенокосно-пастбищного назначения из США; дикорастущий житняк жестколистный к-51604 и житняк керченский к-48705 из Краснодарского края; дикорастущий житняк сибирский к-52440 из Ставропольского края;
- с более быстрым прохождением фазов: сорт-стандарт 'Батыр' (к-47346), житняк жестколистный к-51604;
- с высоким травостоем: гибридный сорт житняка гребенчатого 'Петровский' (к-50974, Украина), дикорастущий житняк гребневидный к-52380 из Павлодарской области, житняк керченский к-48705;
- с высокой урожайностью зеленой и сухой кормовой массы по двум укосам: житняк гребневидный к-52382 из Казахстана;

- с высокой урожайностью зеленой кормовой массы: житняк гребневидный к-52382 и житняк керченский к-48705;

- с высокой семенной продуктивностью: житняк сибирский к-52440 из Ставропольского края, дикорастущий житняк гребневидный к-51330 из Челябинской области;

- с высокой питательной ценностью: житняк гребневидный к-50857 (сорт 'Ephraim' из США), житняк сибирский к-50858 (сорт 'Vavilov II').

Таким образом, в результате первого этапа изучения образцов в течение двух лет удалось получить ценный исходный материал для дальнейшей селекционно-генетической работы.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0005 «Раскрытие потенциала и разработка стратегии рационального использования генетического разнообразия ресурсов кормовых культурных растений и их диких родичей, сохраняемого в семенных и гербарных коллекциях ВИР».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0005 "Disclosing the potential and developing a sustainable utilization strategy for the genetic diversity of forage crops and their wild relatives preserved in the seed and herbarium collections at VIR".

References / Литература

- Bogdan V.S., Moskalenko V.R. Wheatgrass (Zhitnyak). Pyatigorsk; 1940. [in Russian] (Богдан В.С., Москаленко В.Р. Житняк. Пятигорск; 1940).
- Bukhteeva A.V., Malyshev L.L., Dzyubenko N.I., Kochegina A.A. Genetic resources of wheatgrass – *Agropyron* Gaertn. St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] (Бухтева А.В., Малышев Л.Л., Дзюбенко Н.И., Кочегина А.А. Генетические ресурсы житняка – *Agropyron* Gaertn. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Emelyanova A.G. Features of soil and climatic conditions of Central Yakutia and adaptive to them varieties of perennial herbs. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2013;(2):35-37. [in Russian] (Емельянова А.Г. Особенности почвенно-климатических условий Центральной Якутии и адаптивные к ним сорта многолетних трав. *Достижения науки и техники АПК*. 2013;(2):35-37).
- Filippova N.I., Parsaev E.I., Absattar T.B. Study of the wheat grasses (*Agropyron* Gaertn.) collection on the main economically important features, properties and morphological characteristics in the conditions of Northern Kazakhstan. *Science and World*. 2017;9(49)(Pt I):58-65. [in Russian] (Филиппова Н.И., Парсаев Е.И., Абсаттар Т.В. Изучение коллекции житняка (*Agropyron* Gaertn.) по основным хозяйственно важным признакам, свойствам и морфологическим признакам в условиях Северного Казахстана. *Наука и мир*. 2017;9(49)(ч. I):58-65).

Guidelines for studying the collection of perennial forage grasses (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kolleksii mnogoletnikh kormovykh trav). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых трав. Ленинград: ВИР; 1975).

Konstantinov P.N. Wheatgrass (Zhitnyak). Moscow; 1936. [in Russian] (Константинов П.Н. Житняк. Москва; 1936).

Koryakina V.M. Study of the wheatgrass in the conditions of Yakutia. (Izucheniye zhitnyaka v usloviyakh Yakutii). In: *Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference "Agricultural Science for Agricultural Production in Siberia, Mongolia, Kazakhstan, Belarus and Bulgaria (Agrarnaya nauka – selskokhozyaystvennomu proizvodstvu Sibiri, Kazakhstana, Mongolii, Belarusi i Bolgarii)" (Yakutsk, August 14–15, 2019)*. Novosibirsk; 2019. p.37-38. [in Russian] (Корякина В.М. Изучение житняка в условиях Якутии. В кн.: *Материалы XXII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии» (Якутск, 14–15 августа 2019 г.)*. Новосибирск; 2019. С.37-38).

Kravtsov V.A. Development and evaluation of new source material of Siberian wheatgrass (*Agropyron sibiricum* (Willd.) Beauv.) with increased seed and fodder productivity in the Central Cis-Caucasus (Sozdaniye i otsenka novogo iskhodnogo materiala zhitnyaka sibirskogo (*Agropyron sibiricum* (Willd.) Beauv.) s povyshennoy semennoy i kormovoy produktivnostyu v usloviyakh Tsentralnogo Predkavkazy) [dissertation]. Stavropol; 2009. [in Russian] (Кравцов В.А. Создание и оценка нового исходного материала житняка сибирского (*Agropyron sibiricum* (Willd.) Beauv.) с повышенной семенной и кормовой

продуктивностью в условиях Центрального Предкавказья: дис. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь; 2009).

Shain S.S., Karunin B.A. Wheatgrass (Zhitnyak). Moscow: Selkhozgiz; 1950. [in Russian] (Шаин С.С., Карунин Б.А. Житняк. Москва: Сельхозгиз; 1950).

Study of the collection of perennial fodder plants (guidelines) (Izucheniye kollektsii mnogoletnikh kormovykh rasteniy (metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Изучение коллекции многолетних кормовых растений (методические указания). Ленинград: ВИР; 1985).

Sukharev Yu.I., Borodichyov V.V., Dedova E.B., Sangadzhieva S.A. Selection of phyto-meliorants for reclamation of degraded pastures. *Prirodoobustroystvo = Environmental Management*. 2011;(5):25-31. [in Russian] (Сухарев Ю.И., Бородычев В.В., Дедова Э.Б., Сангаджиева С.А. Подбор фитомелиорантов для восстановления деградированных пастбищ. *Природообустройство*. 2011; (5):25-31).

Velichko P.K. Wheatgrass (Zhitnyak). Alma-Ata; 1981. [in Russian] (Величко П.К. Житняк. Алма-Ата; 1981).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Корякина В.М., Кочегина А.А. Результаты изучения образцов рода Житняк (*Agropyron* Gaertn.) из мировой коллекции генетических ресурсов растений ВИР в условиях Якутии. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):59-71. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-59-71

Koryakina V.M., Kochegina A.A. Results of studying wheatgrass (*Agropyron* Gaertn.) accessions from the VIR global genetic resources collection in Yakutia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):59-71. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-59-71

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-59-71>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Koryakina V.M. <https://orcid.org/0000-0002-9387-0376>

Kochegina A.A. <https://orcid.org/0000-0002-6470-5128>

Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

УДК 633.13.631.52 (212.3:571.1)

Поступление/Received: 15.06.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



М. В. ТУЛЯКОВА¹, Г. А. БАТАЛОВА^{1*}, И. Г. ЛОСКУТОВ²,
С. В. ПЕРМЯКОВА¹, Н. В. КРОТОВА¹

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н.В. Рудницкого,
610007 Россия, Республика Коми, г. Киров, ул. Ленина, 166а
* g.batalova@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42, 44
i.loskutov@vir.nw.ru

Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province

M. V. TULYAKOVA¹, G. A. BATALOVA^{1*}, I. G. LOSKUTOV²,
S. V. PERMYAKOVA¹, N. V. KROTOVA¹

¹ N.V. Rudnitsky Federal Agricultural
Science Center of the North-East,
166a Lenina St., Kirov 610007,
Komi Republic, Russia
* g.batalova@mail.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
i.loskutov@vr.nw.ru

Актуальность. Изучение генофонда культуры в конкретных почвенно-климатических условиях позволяет прогнозировать селекционную ценность образцов, а их последующее включение в селекционный процесс обеспечивает создание адаптивных сортов, способных реализовать продуктивный потенциал в производственных условиях.

Материалы и методы. В ФАНЦ Северо-Востока определены параметры стабильности (S_i^2) и пластичности (b_i ; ПУСС), индекс условий среды (I_i), гомеостатичность (Hom), устойчивость к стрессу и индекс стабильности (Is) для 12 образцов овса пленчатого (*Avena sativa* L.).

Результаты. Наибольшую стрессоустойчивость имели образцы 2981 IG100720 (США) и к-15293 BORYNA (Польша), генетическую гибкость – 2981 IG100720 (США), 3007 IG100848 (Германия), к-15330 КСИ 590/05 и к-15178 'Бегунок' (Россия). Выделены источники пленчатого овса интенсивного типа к-15330 КСИ 590/05 (Россия) ($b_i = 1,36$), к-15331 КСИ 2167/03 (Россия) ($b_i = 1,60$), у которых была повышенная урожайность 856 и 889 г/м² – при улучшении условий выращивания в 2017 г., в условиях засушливого 2016 г. – 365 и 285 г/м². К среднеинтенсивным наиболее пластичным можно отнести образцы к-15178 'Бегунок' (Россия) ($b_i = 1,07$), к-15321 'Скроколик' (Россия) ($b_i = 0,97$). Высокую стабильность урожайности имел сорт-стандарт 'Кречет' ($S_i^2 = 0,06$).

Заключение. Выделены источники для селекции овса пленчатого 2981 IG100720 (США), 3007 IG100848 (Германия) и к-15293 BORYNA (Польша), обладающие высокой стрессоустойчивостью и пластичностью, пластичные источники – к-15178 'Бегунок' и к-15321 'Скроколик' (Россия) со стабильно высокой урожайностью в варьирующих условиях среды.

Ключевые слова: *Avena sativa* L., источники, стрессоустойчивость, стабильность, пластичность, гомеостаз.

Background. Studying the gene pool of a crop under specific soil and climate conditions makes it possible to predict the breeding value of germplasm, while its subsequent inclusion in the breeding process ensures the development of adaptable cultivars capable of implementing their productive potential in large-scale agriculture.

Materials and methods. Stability (S_i^2) and plasticity (b_i ; PUSS), Ambient Condition Index (I_i), Homeostatic (Hom), Stress Resistance, and Stability Index (Is) were calculated for 12 hulled oat (*Avena sativa* L.) accessions at the FARC of North-East.

Results. Accessions 2981 IG100720 (USA) and k-15293 BORYNA (Poland) showed the best stress resistance, while the highest genetic flexibility was observed in 2981 IG100720 (USA), 3007 IG100848 (Germany), 5330 CSI 590/05, and k-15178 'Begunok' (Russia). Sources of intensive-type hulled oats: k-15330 CSI 590/05 (Russia) ($b_i = 1.36$) and k-15331 CSI 2167/03 (Russia) ($b_i = 1.60$), were identified for their higher yield values: 856 and 889 g/m² under improved growing conditions in 2017, and 365 and 285 g/m² under dry conditions in 2016, respectively. Medium-intensive accessions k-15178 'Begunok' (Russia) ($b_i = 1.07$), and 'Skrokolik' (k-15321, Russia) ($b_i = 0.97$) were identified for the best plasticity. The reference cv. 'Krechet' ($S_i^2 = 0.06$) demonstrated high yield stability.

Conclusion. Sources were selected for hulled oat breeding: 2981 IG100720 (USA), 3007 IG100848 (Germany), and k-15293 BORYNA (Poland), with high stress resistance and plasticity, and plastic sources k-15178 'Begunok' and k-15321 'Skrokolik' (Russia), with stable high yield under varying environmental conditions.

Key words: *Avena sativa* L., sources, stress resistance, stability, plasticity, homeostasis.

Введение

Накоплением и изучением генетического фонда растений во многих странах мира занимается отдел генетических ресурсов ФАО. В России функцию генетического банка выполняет Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Коллекция ВИР постоянно пополняется новыми образцами различного эколого-географического происхождения. Большая изменчивость условий среды в разные годы и по регионам, невозможность их контролировать и регулировать приводит к высокой градации урожайности и других хозяйственно ценных признаков (Admas, Tesfaye, 2017; Pereira et al., 2017; Yau, 1991). Отобрать специфически адаптивные образцы возможно лишь в условиях, максимально сходных с теми, в которых будет возделываться сорт (Ceccarelli et al., 1991). Изучение генофонда культуры в конкретных почвенно-климатических условиях позволяет прогнозировать селекционную ценность образцов, а их последующее включение в селекционный процесс обеспечивает создание адаптивных сортов, способных реализовать продуктивный потенциал в производственных условиях (Voitsutskaya, Loskutov, 2019; Tulyakova et al., 2019; Des Marais et al., 2013). Новые сорта должны сочетать отзывчивость на плодородие почвы и устойчивость к лимитирующим факторам среды (Batalova et al., 2017; Du et al., 2011; Unnati et al., 2017). Наиболее важный показатель, который характеризует селекционную ценность генотипа, – урожайность. Урожайность – сложный генетический признак, зависящий от многих составляющих. Отмечают влияние на величину урожайности погодных условий и типа почв (Polonskiy et al., 2019; Gedif et al., 2014). Известно, что если высокая средняя урожайность есть результат высокой продуктивности только в благоприятных условиях, то такой сорт будет хуже тех, которые обладают лучшей адаптацией к неблагоприятным условиям (Nevo, 2015). В связи с этим изучение экологической пластичности и адаптивности генофонда культуры и созданных на его основе селекционных линий в предполагаемом регионе распространения нового сорта является наиболее актуальным вопросом эффективного внедрения селекционного достижения в производство (Alabushev et al., 2019; Pakudin, Lopatina, 1984).

Цель исследований – изучить коллекционные образцы овса пленчатого по урожайности и выделить адаптивные для селекции овса пленчатого в условиях Кировской области.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2016–2019 гг. на опытном поле Фалёнской селекционной станции – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Объекты исследований – 12 коллекционных образцов овса пленчатого (*Avena sativa* L.), в том числе сорт-стандарт ‘Кречет’ (табл. 1). Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, предшественник – многолетние травы. Образцы высевали из расчета 600 всхожих зерен на делянку площадью 1 м² в трехкратной повторности в оптимальные агротехнические сроки. Фенологические наблюдения, оценки и учеты проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР (Loskutov et al., 2012). Определяли параметры стабильности (S_i^2), пластичности (b_i), ин-

декс условий среды (I_i) (Pakul, Plisko, 2016), гомеостатичность (Hom) (Hangildin, 1986), уровень стабильности сорта (ПУСС) (Nettevich et al., 1985) и индекс стабильности (Ис) (Udachin, Golovchenko, 1990), устойчивость к стрессу (Goncharenko, 2005), гидротермический коэффициент (ГТК) (Selyaninov, 1928). Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием селекционно-ориентированной программы AGROS, версия 2.07.

Результаты и обсуждение

Метеорологические условия в годы проведения исследований имели контрастные показатели в период вегетации пленчатого овса, что позволило провести комплексную оценку адаптивных свойств коллекционных образцов. Степень благоприятности условий вегетации растений позволяет оценить индекс среды (I_i). В период вегетации 2016 г. наблюдали засуху – индекс отрицательный (табл. 1).

Май был сухим, с относительно низкой влажностью воздуха, эффективные осадки практически отсутствовали, их количество составило 11,2 мм (24% от нормы). Среднемесячная температура воздуха (13,1°C) превысила климатическую норму на 2,8°C. В июне отмечали неустойчивую по температуре погоду, в отдельные дни она достигала 32°C и составила в среднем 15,9°C (–0,1°C), осадков выпало 47 мм (71% от нормы). В июле преобладала теплая, временами жаркая, с периодическими дождями погода. Средняя температура воздуха была на 2,5°C выше средней многолетней, сумма осадков составила 51 мм (66% нормы). Таким образом, засуху наблюдали в период от всходов до полной спелости, что негативно отразилось на формировании элементов структуры продуктивности растений и, как следствие, на урожайности овса, привело к быстрому прохождению фаз онтогенеза (ГТК = 0,81). Средняя урожайность по изучаемым образцам в 2016 г. была достаточно низкой – 411 г/м², варьировала от 400 г/м² у образца к-15280 55 h 2106 до 510 г/м² у 3007 IG100848.

В период исследований наиболее благоприятные условия вегетации овса наблюдали в 2017 г. ГТК за весь период вегетации составил 1,86. Среднесуточная температура воздуха в мае, июне и первой декаде июля была ниже нормы соответственно на 2,8; 2,0 и 0,5°C. В июле отмечали обильные дожди, грозы и сильный ветер. Количество осадков превысило норму в 2 раза, что привело к затягиванию сроков развития и созревания овса. Индекс условий среды имел наибольшее положительное за годы исследований значение (182). Несмотря на поздние сроки сева, достаточное увлажнение и несколько пониженные температуры в период вегетации способствовали формированию продуктивной, озерненной метелки и в целом стеблестоя. Урожайность варьировала от 639 г/м² у образца к-15293 BORYNA до 922 г/м² у к-15178 ‘Бегунок’ и составила в среднем для 11 генотипов 787 г/м², или в 1,9 раза выше показателя 2016 г.

Климатические условия вегетационного периода 2018 г. были благоприятны для формирования высокого урожая зерна. Недостаточное количество осадков на фоне высокой температуры в III декаде июля – первой половине августа ускорило созревание овса, привело к формированию зерна средней крупности (ГТК = 1,3). Индекс условий среды был отрицательным (–36). Средняя урожайность изученных образцов составила

Таблица 1. Урожайность образцов овса в зависимости от условий среды, г/м²**Table 1. Yield of oat accessions depending of growing conditions, g/m²**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Год изучения / Year of study				
			2016	2017	2018	2019	Среднее / Mean
15330	КСИ 590/05 / KSI 590/05	Россия / Russia	365	856	535	763	630
15331	КСИ 2167/03 / KSI 2167/03	Россия / Russia	285	889	600	729	626
15178	Бегунок / Begunok	Россия / Russia	485	922	560	565	633
15329	КСИ 639/05 / KSI 639/05	Россия / Russia	355	778	530	805	617
15280	55 h 2106	Россия / Russia	400	780	585	517	573
15321	Скроколик / Skrokolik	Россия / Russia	430	778	400	611	555
15293	BORYNA	Польша / Poland	410	639	650	632	585
15327	КСИ 731/01 / KSI 731/01	Россия / Russia	365	694	610	670	585
2981*	IG100720	США / USA	490	722	600	632	611
3007*	IG100848	Германия / Germany	510	833	600	564	627
	Креchet (ст.) / Krechet (ref.)	Россия / Russia	426	756	590	677	612
Среднее / Mean			411	787	569	651	605
НСР₀₅ / LSD₀₅			58	72	114	190	-
Индекс среды (I_p) / Ambient Condition Index (I_p)			-194	182	-36	46	-

* – каталог поступлений отдела овса ФАНЦ Северо-Востока

* – the catalogue of accessions of the Oats Department, FARC of the North-East

569 г/м², минимальный показатель 400 г/м² был у образца к-15321 'Скроколик', максимальный – 650 г/м², как и в предшествующем году, у к-15293 BORYNA.

Понижение температуры, избыточное увлажнение (ГТК = 1,3), развитие болезней, увеличение продолжительности межфазных периодов и в целом периода вегетации овса в 2019 г. неблагоприятно отразилось на росте и развитии растений овса, привело к неравномерному созреванию посевов и осыпанию зерна при полегании. Однако индекс условий среды имел положительное значение (46), а средняя урожайность была выше таковой в 2016 и 2018 г.

При нестабильных метеорологических условиях актуальна характеристика генотипов по устойчивости к стрессу (засухе, высокой температуре воздуха, избыточному увлажнению и др.), уровень которой определяет разность между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_2 - Y_1$) (Goncharenko, 2005). Чем меньше величина данного показателя, тем выше устойчивость образца к стрессу.

Самой высокой устойчивостью к стрессу в исследованиях характеризовались образцы 2981 IG100720 (-232 г/м²) и 3007 IG100848 (-323 г/м²) с наивысшей минимальной за годы исследований урожайностью и к-15293 BORYNA с наибольшей среди изученных образцов урожайностью в условиях 2018 г. (-240 г/м²) (табл. 2). Наименьшую устойчивость к стрессу наблюдали у к-15331 КСИ 2167/03 с минимальной урожайностью в неблагоприятном 2016 г. (285 г/м²) и высокой в благоприятном 2017 г. (889 г/м²), депрессия 67,9%.

В этих же условиях наиболее потенциально урожайный образец к-15178 'Бегунок' (922 г/м²) был более устойчив к стрессу – показатель гибкости генотипа максимальный (704 г/м²). Гибкость генотипа и его компенсационную способность отражает показатель средней урожайности сорта $(Y_1 + Y_2)/2$ в контрастных (стрессовых и не стрессовых) условиях (Goncharenko, 2005). Чем выше степень соответствия между генотипом и различными факторами среды, тем выше этот показатель. Высокое значение генетической гибкости отме-

Таблица 2. Показатели стрессоустойчивости образцов овса, 2016–2019 гг.

Table 2. Stress resistance indices in oat accessions, 2016–2019

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Показатели, г/м ² / Indices, g/m ²			
		Y ₂ (min)	Y ₁ (max)	Y ₂ –Y ₁	(Y ₁ +Y ₂)/2
15330	КСИ 590/05 / KSI 590/05	365	856	–491	611
15331	КСИ 2167/03 / KSI 2167/05	285	889	–604	587
15178	Бегунок / Begunok	485	922	–437	704
15329	КСИ 639/05 / KSI 639/05	355	805	–450	580
15280	55 h 2106	400	789	–389	595
15321	Скроколик / Skrokolik	400	778	–378	589
15293	BORYNA	410	650	–240	530
15327	КСИ 731/01 / KSI 731/01	365	694	–329	530
2981*	IG100720	490	722	–232	606
3007*	IG100848	510	833	–323	672
	Кречет (ст.) / Krechet (ref.)	426	756	–330	591

* – см. табл. 1

* – see Table 1

чено у образцов 2981 IG100720, 3007 IG100848 и к-15330 КСИ 590/05.

При характеристике адаптивности актуален анализ пластичности по коэффициенту регрессии (b_i), характеризующему отклик генотипа на изменение условий выращивания, и стабильности в различных условиях среды по показателю дисперсии (S_i^2). Выделены образцы к-15330 КСИ 590/05 и к-15331 КСИ 2167/03 с коэффициентом регрессии значительно выше единицы ($b_i = 1,36$ и $1,60$) и низкой стабильностью урожайности ($S_i^2 = 0,38$ и $0,18$) (табл. 3). Данные генотипы отзывчивы на благоприятные условия выращивания; для формирования высокого урожая им необходим высокий уровень агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи. У них отмечена высокая изменчивость урожайности по годам ($V = 35,3$ и $40,9\%$).

В неблагоприятных погодных условиях (засуха) и на низком агрофоне продуктивность образцов к-15330 КСИ 590/05 и к-15331 КСИ 2167/03 снижается. Они актуальны для использования в качестве источников в селекции сортов овса интенсивного типа. Образцы к-15178 'Бегунок' и к-15321 'Скроколик' относятся к средненизким (показатель $b_i = 1,07$ и $0,97$ соответственно). Они проявили наибольшую пластичность и адаптивность в варьирующих условиях среды. Средняя урожайность данных образцов была выше стандарта как в засушливом 2016 г. (485 и 430 г/м²), так и в благоприятном 2017 г. (922 и 778 г/м²). Они могут быть использованы в качестве источников в селекции на урожайность в большей части селекционных центров России, располо-

женных в регионах с нестабильными погодными условиями и малоплодородными почвами в сочетании с источниками интенсивного типа.

Образцы к-15280 55 h 2106, к-15327 КСИ 731/01 и 'Кречет' можно отнести к полунтенсивным генотипам ($b_i < 1$) с низким показателем стабильности, за исключением контрольного сорта 'Кречет' у которого стабильность высокая ($S_i^2 = 0,06$). Данные образцы могут быть использованы в селекции сортов, пригодных для возделывания на бедном агрофоне или же при неблагоприятных климатических условиях.

Образцы 2981 IG100720, 3007 IG100848, к-15293 BORYNA с наиболее низким коэффициентом регрессии ($b_i = 0,59$; $0,77$ и $0,57$) слабо реагировали на изменение условий среды. Их актуально включать в селекционные программы в качестве универсальных источников для создания сортов, пригодных к выращиванию в различных условиях.

Для оценки пластичности используют также коэффициент мультипликативности (КМ). Чем выше значение коэффициента, тем сильнее изменяется урожайность сорта в различных условиях. В исследованиях характеристики образцов по КМ и коэффициенту регрессии (b_i) практически совпадали.

Одним из важных показателей, который характеризует устойчивость растений к действию неблагоприятных факторов среды, является уровень гомеостаза. Он характеризует способность генотипа сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных внешних условий. Критерий гомеостатичности – низкая вариабель-

Таблица 3. Параметры пластичности, стабильности и адаптивной способности коллекционных образцов овса, 2016–2019 гг.**Table 3. Parameters of plasticity, stability, and adaptability in oat germplasm accessions, 2016–2019**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Коэффициент вариации (V), % / Coefficient of variation (V), %	b_i	S^2_i	КМ / KM	Sc	Ис / Is	Ном	ПУСС / PUSS
15330	КСИ 590/05 / KSI 590/05	35,3	1,36	0,38	2,31	269	17,86	3,64	1838,5
15331	КСИ 2167/03 / KSI 2167/05	40,9	1,60	0,18	2,55	201	15,30	2,53	1565,0
15178	Бегунок Begunok	31,0	1,07	1,37	2,02	333	20,43	4,68	2113,1
15329	КСИ 639/05 / KSI 639/05	34,7	1,22	1,18	2,20	272	17,79	3,95	1793,5
15280	55 h 2106	28,5	0,93	0,70	1,98	290	20,11	5,17	1882,8
15321	Скроколик / Skrokolik	31,6	0,97	1,03	2,01	285	17,53	4,64	1589,7
15293	BORYNA	19,8	0,57	0,72	1,59	369	29,55	12,36	2824,6
15327	КСИ 731/01 / KSI 731/01	25,8	0,87	0,51	1,90	306	22,67	6,90	2167,0
2981*	IG100720	15,7	0,59	0,10	1,58	415	38,97	16,8	3890,6
3007*	IG100848	22,7	0,77	0,75	1,74	384	27,60	8,55	2827,6
	Кречет (ст.) / Krechet (ref.)	23,1	0,87	0,06	1,86	345	26,48	8,02	100

* – см. табл. 1

* – see Table 1

ность признаков продуктивности – характеризует устойчивость признака к изменяющимся условиям среды. Пределы варьирования признака урожайности в исследованиях были достаточно широки: от 15,7% у образца 2981 IG100720 до 40,9% у к-15331 КСИ 2167/03. Наибольшую стабильность наблюдали у образцов 2981 IG100720 ($V = 15,7\%$; $Hom = 16,8$), 3007 IG100848 ($V = 22,7\%$; $Hom = 8,55$), к-15293 BORYNA ($V = 19,8\%$; $Hom = 12,36$) и стандарта 'Кречет' ($V = 23,1\%$; $Hom = 8,02$). Высокая вариабельность и низкая гомеостатичность отмечены у образцов к-15330 КСИ 590/05 ($V = 35,3\%$; $Hom = 3,64$), к-15331 КСИ 2167/03 ($V = 40,9\%$; $Hom = 2,53$) и к-15329 КСИ 639/05 ($V = 34,7\%$; $Hom = 3,95$), что свидетельствует о высокой зависимости их урожайности от условий выращивания.

В качестве характеристики проявления гомеостатических реакций образцов в варьирующих условиях среды использовали индекс стабильности (ИС) как соотношение средней величины и среднеквадратичного отклонения урожайности. Генотипы с высоким показателем индекса стабильности могут быть охарактеризованы как более стабильные, то есть более приспособленные к данным условиям. В исследованиях к таковым были отнесены 2981 IG100720, 3007 IG100848 и к-15293 BORYNA, высокий показатель имел стандарт 'Кречет'.

Для введения поправки на гомеостатичность при отборе на продуктивность и стабильность, были определены показатели уровня стабильности урожайности

(ПУСС) и селекционной ценности генотипа (S_i). Образцы 2981 IG100720, 3007 IG100848, к-15293 BORYNA, к-15178 'Бегунок' и к-15327 КСИ 731/01 по показателю ПУСС превысили стандарт на 15,6–38,9%. В результате по селекционной ценности генотипа (S_i) и ряду других показателей отобраны образцы – источники для использования в селекции: 2981 IG100720, 3007 IG100848 и к-15293 BORYNA.

Исследование показало, что величина коэффициента вариации согласуется с коэффициентами линейной регрессии ($r = 0,96$), мультипликативности ($r = 0,97$), показателями гомеостатичности ($r = -0,94$) и селекционной ценности генотипа ($r = -0,94$), индексом стабильности ($r = -0,92$). Следовательно, показатель коэффициента вариации, полученный по результатам многолетних исследований, может быть использован для оценки адаптивности генотипа. Установлена высокая положительная корреляция между коэффициентом регрессии и коэффициентом мультипликативности ($r = 0,99$), высокая значимая отрицательная взаимосвязь данных коэффициентов с показателями гомеостатичности ($r = -0,90$ и $-0,94$), селекционной ценности генотипа ($r = -0,83$ и $-0,87$) и индекса стабильности ($r = -0,84$ и $-0,87$). Наряду с этим показатель Hom достоверно положительно сопряжен с индексом стабильности ($r = 0,87$) и показателем селекционной ценности генотипа ($r = 0,91$), а показатель селекционной ценности генотипа, в свою очередь, с индексом стабильности ($r = 0,98$).

Заключение

По результатам испытаний выделены образцы – источники для селекции овса в условиях Кировской области и других регионов страны со сходными агроклиматическими и почвенными условиями: 2981 IG100720 (США), 3007 IG100848 (Германия) и к-15293 BORYNA (Польша), обладающие высокой стрессоустойчивостью и пластичностью. Выделены адаптивные на изменение условий возделывания пластичные источники: к-15178 'Бегунок' и к-15321 'Скроколик' (Россия) со стабильно высокой урожайностью в варьирующих условиях среды, которые целесообразно использовать в селекционных программах по созданию сортов овса с высокой адаптивностью в условиях Кировской области.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану по проекту № 0767-2019-0093 «Разработка и реализация фундаментальных научно-методических подходов мобилизации, изучения, создания (в т. ч. с использованием биотехнологий) и поддержания уникальных природных и экспериментальных генетических ресурсов яровых зерновых культур (пшеница, ячмень, овес); моделей сортов с повышенной продуктивностью и устойчивостью к действию стрессовых биотических и абиотических факторов, с улучшенными селекционно-ценными признаками; технологии управления продукционным процессом с учетом эдафических и биотических стрессовых факторов европейского Северо-Востока России, локального и глобального изменения климата для решения актуальных задач обеспечения импортозамещения и улучшения качества питания населения».

Материал коллекции ВИР был предоставлен в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan, Project No. 0767-2019-0093 "Development and implementation of fundamental scientific and methodological approaches to mobilize, study, develop (incl. using biotechnology) and maintain unique natural and experimental genetic resources of spring cereal crops (wheat, barley, and oats); models of cultivars with increased productivity and resistance to biotic and abiotic stressors, with improved traits of breeding value; technologies for managing the production process, taking into account edaphic and biotic stressor of the European Northeast of Russia, local and global climate change, to solve urgent problems of ensuring import substitution and improving the quality of nutrition for the population".

The germplasm material was provided by VIR according to the theme plan for Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, 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".

References / Литература

- Admas S., Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia. *Acta Universitatis Sapientiae. Agriculture and Environment*. 2017;9(1):82-94. DOI: 10.1515/ausae-2017-0008
- Alabushev A.V., Makarova T.S., Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Dubinina O.A. Parameters of adaptability and stability of winter durum wheat varieties according to various forecrops in the Rostov region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(6):557-566. [in Russian] (Алабушев А.В., Макарова Т.С., Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Дубинина О.А. Параметры пластичности и стабильности сортов озимой твердой пшеницы по различным предшественникам в условиях Ростовской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(6):557-566). DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.557-566
- Batalova G.A., Shevchenko S.N., Lisitsyn E.M., Tulyakova M.V., Rusakova I.I., Zheleznikova V.A. et al. Breeding methodology of ecologically resistant varieties of covered oat. *Russian Agricultural Sciences*. 2017;(6):3-6. [in Russian] (Баталова Г.А., Шевченко С.Н., Лисицын Е.М., Тулякова М.В., Русакова И.И., Железникова В.А. и др. Методология создания продуктивных, экологически устойчивых сортов овса пленчатого. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017;(6):3-6).
- Ceccarelli S., Avecedo E., Grando S. Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. *Euphytica*. 1991;56(2):169-185.
- Des Marais D.L., Hernandez K.M., Juenger T.E. Genotype-by-environment interaction and plasticity: exploring genomic responses of plants to the abiotic environment. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2013;44:5-29. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-110512-135806
- Du J.B., Yuan S., Chen Y.E., Sun X., Zhang Z.W., Xu F. et al. Comparative expression analysis of dehydrins between two barley varieties, wild barley and Tibetan hulless barley associated with different stress resistance. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2011;33(2):567-574. DOI: 10.1007/s11738-010-0580-0
- Gedif M., Yigzaw D., Tsige G. Genotype-environment interaction and correlation of some stability parameters of total starch yield in potato in Amhara region, Ethiopia. *Plant Breeding and Crop Science*. 2014;6(3):31-40. DOI: 10.5897/JPCS2013.0426
- 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 РАСХН*. 2005;(6):49-53).
- Hangildin V.V. Parameters for evaluating the homeostasis of varieties and breeding lines in the testing of ear crops (Parametry otsenki gomeostatichnosti sortov i selektsionnykh liniy v ispytanii kolosovykh kultur). *Nauchno-*

- tekhnicheskiy byulleten VSGI = Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Breeding and Genetics Institute*. 1986;2(60):36-41. [in Russian] (Хангильдин В.В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытании колосовых культур. *Научно-технический бюллетень ВСГИ*. 1986;2(60):36-41).
- 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).
- Nettevich E.D., Morgunov A.I., Maksimenko M.I. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and quality of grain (Povysheniye effektivnosti otbora yarovoy pshenitsy na stabilnost, urozhaynost i kachestvo zerna). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1985;(1):66-73. [in Russian] (Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985;(1):66-73).
- Nevo E. Evolution of wild barley at "Evolution Canyon": adaptation, speciation, pre-agricultural collection, and barley improvement. *Israel Journal of Plant Sciences*. 2015;62(1-2):22-32. DOI: 10.1080/07929978.2014.940783
- Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crop varieties (Otsenka ekologicheskoy plastichnosti i stabilnosti sortov selskokhozyaystvennykh kultur). *Agricultural Biology*. 1984;19(4):109-113. [in Russian] (Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 1984;19(4):109-113).
- Pakul V.N., Plisko L.G. Assessment of ecological plasticity of selection lines of spring-sown soft field in the conditions of the forest-steppe of Kuznetsk Depression. *International Research Journal*. 2016;3-3(45):116-120. [in Russian] (Пакуль В.Н., Плиско Л.Г. Оценка экологической пластичности селекционных линий яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Кузнецкой котловины. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;3-3(45):116-120). DOI: 10.18454/IRJ.2016.45.075
- Pereira H.S., Alvares R.C., Silva F.C., de Faria L.C., Melo L.C. Genetic, environmental and genotype × environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality. *Semina: Ciências Agrárias*. 2017;38(3):1241-1250. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):683-690. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Selyaninov G.T. On agricultural assessment of climate (O selskokhozyaystvennoy otsenke klimata). *Trudy po selskokhozyaystvennoy meteorologii = Works on Agricultural Meteorology*. 1928;20:16-177. [in Russian] (Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928;20:16-177).
- Tulyakova M.V., Batalova G.A., Permyakova S.V., Krotova N.V. Source material of chaffy oat for breeding for high yield. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019;33(7):9-12. [in Russian] (Тулякова М.В., Баталова Г.А., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Исходный материал овса пленчатого для селекции на урожайность. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(7):9-12). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10702
- Udachin R.A., Golovchenko A.P. Method for assessing the ecological plasticity of wheat varieties (Metodika otsenki ekologicheskoy plastichnosti sortov pshenitsy). *Seleksiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1990;(5):2-6. [in Russian] (Удачин Р.А., Головченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы. *Селекция и семеноводство*. 1990;(5):2-6).
- Unnati P., Pathik P., Lalit M., Bilwal B. Stability analysis for grain yield and its attributing traits of rice across locations. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017;6(11):2102-2111. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.611.248
- Voytsutskaya N.P., Loskutov I.G. Breeding value of European oat accessions in the environments of Kuban Experiment Station of VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(1):52-58. [in Russian] (Войцукская Н.П., Лоскутов И.Г. Селекционная ценность европейских образцов овса в условиях Кубанской опытной станции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(1):52-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-52-58
- Yau S.K. Variance of relative yield as agronomic type of stability measure. In: *Proceedings of the 8th EUCARPIA Meeting "Biometrics in Plant Breeding", 1-6 July 1991, Brno, Czechoslovakia*. Brno; 1991. p.245.

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):72-79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Assessment of adaptability parameters in hulled oat germplasm accessions in terms of their yield in the environments of Kirov Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):72-79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-72-79>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Tulyakova M.V. <https://orcid.org/0000-0002-4493-1005>
Batalova G.A. <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>
Loskutov I.G. <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>
Permyakova S.V. <https://orcid.org/0000-0002-9595-1129>
Krotova N.V. <https://orcid.org/0000-0003-1355-083X>

Комплексная биохимическая характеристика кориандра (*Coriandrum sativum* L.)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

УДК: 635.74:577.13

Поступление/Received: 20.03.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



Complex biochemical characteristics of *Coriandrum sativum* L.

Т. В. ХМЕЛИНСКАЯ, А. Е. СМОЛЕНСКАЯ,
А. Е. СОЛОВЬЕВА*T. V. KHMELINSKAYA, A. E. SMOLENSKAYA,
A. E. SOLOVYEVA*

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ t.khmelinskaya@vir.nw.ru
✉ nastya-smolenska.n@ya.ru
* ✉ alsol64@mail.ru

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ t.khmelinskaya@vir.nw.ru
✉ nastya-smolenska.n@ya.ru
* ✉ alsol64@mail.ru

Актуальность. Кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) – ценная овощная культура, обладающая скороспелостью и высокими пищевыми достоинствами. Зелень кориандра богата витаминами, особенно аскорбиновой кислотой и каротином. Целесообразность использования кориандра в качестве натуральных добавок в пищу обусловлена его высокой антиоксидантной активностью. Задачей нашего исследования было изучение биохимического состава зеленой массы образцов кориандра (*C. sativum*) мировой коллекции ВИР и выделение образцов, перспективных для селекции на качество.

Материалы и методы. Материалом для исследования была зеленая масса 67 коллекционных образцов кориандра из разных стран мира. Посев образцов, агротехнические приемы по выращиванию, изучение, сбор и подготовку растительного материала для биохимических исследований проводили согласно методическим указаниям ВИР.

Результаты. В результате проведенных исследований теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования кориандра в качестве источника ценных питательных и биологически активных веществ. Биохимический состав кориандра значительно варьировал в зависимости от происхождения образца. Наиболее высокая изменчивость отмечена по содержанию каротинов (CV = 41%). Выявлены различия по биохимическим показателям у образцов разных групп спелости.

Заключение. Выделены перспективные образцы с улучшенными показателями качества, которые представляют интерес как исходный материал для селекции и практического использования.

Ключевые слова: биохимический состав, сахара, органические кислоты, хлорофиллы, каротиноиды, каротины, β-каротин.

Background. *Coriandrum sativum* L. is a valuable vegetable crop with early maturity and high nutritional benefits. Green biomass of coriander is rich in vitamins, especially ascorbic acid and carotene. The feasibility of using coriander as a natural food additive is due to its high antioxidant activity. The aim of this research was to study the biochemical composition of the green biomass in the accessions of *C. sativum* from the VIR global collection and identify promising accessions for use in breeding for quality.

Materials and methods. The green biomass of 67 coriander accessions from different countries maintained in the VIR collection served as the research material. The study was carried out according to the guidelines developed by VIR.

Results. As a result of the study, the feasibility of using *C. sativum* as a source of bioactive compounds was theoretically justified and experimentally confirmed, thus attesting to the prospects of coriander accessions from the VIR collection for quality-targeted breeding programs. New data were obtained on the biochemical composition of coriander green biomass. A factor determining such biochemical composition is the genotypic features of coriander associated with its origin. Biochemical parameters in coriander varied significantly depending on the origin of an accession. The highest variability was observed in the content of carotenoids (CV 41%). The effect of an accession's precocity was not confirmed. Sources for individual quality indicators were highlighted.

Conclusion. Accessions with an optimal component composition for a balanced human diet were identified and recommended for quality-oriented breeding, including the development of cultivars for health-friendly, curative and preventive nutrition. The selected accessions are of interest as source material for breeding programs and practical utilization.

Key words: biochemical composition, sugars, organic acids, chlorophylls, carotenoids, carotenes, β-carotene.

Введение

Кориандр (*Coriandrum sativum* L.) – однолетнее растение семейства Apiaceae Lindl., или Umbelliferae (сельдерейные, или зонтичные). В культуру растение введено еще в глубокой древности. В настоящее время его широко возделывают в средней и южной частях Евро-

пы, США, Канаде, Северной Африке, Индии, Китае и ряде других стран. В России (в центральных и юго-восточных областях европейской территории) кориандр получил большое распространение как эфирномасличное растение. Дикорастущий кориандр встречается повсеместно в Западной Азии и Южной Европе (Mahamane et al., 2016).

Под посевы этого растения выделяется более половины всех площадей, отводимых под эфиромасличные культуры. Посевная площадь кориандра во всем мире занимает примерно 300–320 тыс. га. Основная часть используется для пищевого и парфюмерно-косметического производства, и лишь небольшой процент – для получения кормов (Pashtetskiy et al., 2017). Кориандр посевной является ценной овощной культурой в связи со скороспелостью и качеством продукции (Mukhortov, Tikhomirova, 2018). Зелень кориандра богата витаминами, особенно аскорбиновой кислотой и каротином. Пряный запах зелени обусловлен содержанием в ней эфирного масла. Как овощную культуру его возделывают повсеместно в Закавказье, где он известен под названием кинза. Кориандр успешно растет и в северных районах, в том числе в Северо-Западном регионе РФ, где дает хороший урожай зеленой массы, но семена овощных форм здесь обычно не вызревают.

В целом кориандр является источником целого ряда ценных продуктов, таких как эфирное и пищевое растительные масла, зеленые листья и зрелые плоды, а также шроты, жмыхи и порошок. Кроме того, кориандр – один из лучших медоносов, дающий мед высокого качества (Mironenko et al., 2004; Bochkaryov et al., 2014). И. В. Крылова с соавторами (Krylova et al., 2019) отметили, что все продукты переработки плодов кориандра содержали большое количество таких ценных в питательном отношении веществ, как свободные аминокислоты, инозитолы, фенольные соединения и др. Преобладающей фракцией биологически активных веществ являются полисахариды.

В структуре посевов овощных культур кориандр занимает все большее место, прежде всего благодаря своей скороспелости и питательной ценности (Ivanov, 2010). Отдельным направлением является выведение овощных форм с крупными розеточными листьями. В Черноземных областях высокой урожайностью зеленой массы кориандра считается 16–18 ц/га (Poshuv, Rosanov, 2019). Для расширения признакового полиморфизма кориандра посевные перспективны межвидовые скрещивания с кориандром тордилиевым – *C. tordylium* (Fenzl.) Bornm. и межродовая гибридизация с двумя видами рода *Bifora* Hoffm. Основными признаками отбора для селекции овощного кориандра являются вегетационный период (позднеспелые образцы), количество и масса розеточных листьев, устойчивость к рамуляризу (Bochkaryov et al., 2014).

В настоящее время в Госреестре находится 28 сортов кориандра, в том числе три сорта иностранной селекции (State Register..., 2019).

Анализ литературных данных показал, что до настоящего времени химические исследования кориандра посевного преимущественно посвящены изучению состава и биологической активности компонентов эфирного масла его плодов. Кориандр как овощное растение изучен мало. Исследователей, как правило, интересовали отдельные группы соединений, имеющих пищевое или фармакологическое значение.

Наиболее полно состав биологически активных веществ плодов кориандра из Индии, Египта и Туниса был исследован K. Msaada et al. (2017). Они отметили, что в связи с высокой антиоксидантной активностью плодов изучение кориандра является перспективным. Как новый естественный источник антиоксидантов кориандр целесообразно использовать в качестве натуральных добавок к пище.

В литературе приводятся данные о полисахаридном комплексе, который представлен водорастворимыми полисахаридами, пектиновыми веществами, гемицеллюлозой А и Б. Для каждой из этих фракций установлен состав, где доминирует арабиноза, галактоза, ксилоза и рамноза. Во фракции пектиновых веществ обнаружена галактуроновая кислота (Nersesyan et al., 2006). Следует отметить, что в медицине народов Кавказа кориандр широко используется в качестве гипотензивного и кардиотонического средства. Широкий спектр фармакологической активности обусловлен наличием биологически активных веществ разных классов. В работе Э. Т. Оганесян с соавторами (Oganesyan et al., 2007) рассмотрены фенольные соединения, органические кислоты, аминокислоты, макро- и микроэлементы кориандра.

Соединения фенольной природы у этой культуры представлены флавоноидами, кумаринами и фенолкарбоновыми кислотами. Установлено, что из аминокислот в кориандре преобладают глутамин, аспарагин и аргинин, из минералов – натрий, кальций, магний и фосфор. Содержание аскорбиновой кислоты составляет 24 мг/100 г, а свободных органических кислот в пересчете на яблочную кислоту – 2,35% (Oganesyan et al., 2007).

В мировом генетическом банке ВИР поддерживается обширная коллекция из 728 сортов кориандра с комплексом различных хозяйственно ценных признаков.

Мировой генофонд кориандра посевного в целом довольно беден, однако из-за возделывания его с глубокой древности и до наших дней у этого вида сформировалось большое количество эколого-географических популяций (Bochkaryov et al., 2014).

Целью нашего исследования было изучение биохимического состава зеленой массы образцов кориандра (*C. sativum*) из мировой коллекции ВИР, а также выделение перспективных образцов для использования в селекции на качество.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили образцы зеленой массы 67 образцов кориандра разного эколого-географического происхождения, поступивших в коллекцию Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) из 44 стран. Основная часть была представлена местными популяциями. В изучение были включены раннеспелые и позднеспелые (овощные) формы (табл. 1).

Растения выращивали на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Санкт-Петербург).

Посев образцов, агротехнические приемы по уходу за растениями, изучение, сбор и подготовку растительного материала для биохимических исследований осуществляли по методикам, разработанным в ВИР (Guidelines..., 1981).

Для пробоподготовки брали свежий материал пяти растений каждого образца в начале цветения. Анализ материала осуществляли по методикам ВИР (Ermakov et al., 1987). Оценку проводили по основным показателям качества: содержанию сухих веществ, сахаров, аскорбиновой кислоты, хлорофиллов, каротиноидов, каротинов, β-каротина, антоцианов.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли прямым извлечением из растительной ткани однопроцентной соляной кислотой с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофенола, сахара – методом Бер-

Таблица 1. Эколого-географические группы изученных образцов *Coriandrum sativum* L.**Table 1.** Ecogeographic groups of the studied accessions of *Coriandrum sativum* L.

Регион	Происхождение	№ по каталогу ВИР	Длительность вегетации	Количество
Европа	Югославия	11	раннеспелый	11
	Германия	12	раннеспелый	
	Беларусь	100	позднеспелый	
	Чехия	124	позднеспелый	
	Португалия	277	раннеспелый	
	Нидерланды	281	раннеспелый	
	Венгрия	395	раннеспелый	
	Великобритания	443	раннеспелый	
	Португалия	вр.к-459	позднеспелый	
	Польша	вр.к-475	позднеспелый	
	Германия	вр.к-708	позднеспелый	
Северная Азия	Россия	264	позднеспелый	2
	Россия	429	позднеспелый	
Западная Азия	Грузия	1	позднеспелый	19
	Ирак	37	раннеспелый	
	Дагестан	87	позднеспелый	
	Дагестан	91	позднеспелый	
	Иран	93	раннеспелый	
	Иран	94	позднеспелый	
	Грузия	144	раннеспелый	
	Армения	147	раннеспелый	
	Грузия	148	позднеспелый	
	Армения	150	позднеспелый	
	Азербайджан	190	раннеспелый	
	Азербайджан	207	позднеспелый	
	Азербайджан	214	позднеспелый	
	Азербайджан	217	раннеспелый	
	Йемен	324	раннеспелый	
	Сирия	440	позднеспелый	
	Грузия	вр.к-329	позднеспелый	
	Абхазия	вр.к-538	позднеспелый	
	Азербайджан	вр.к-714	позднеспелый	
Средняя Азия	Узбекистан	50	позднеспелый	5
	Казахстан	173	позднеспелый	
	Казахстан	237	позднеспелый	
	Казахстан	269	позднеспелый	
	Узбекистан	вр.к.-518	раннеспелый	
Южная Азия	Индия	28	раннеспелый	9
	Индия	205	позднеспелый	
	Индия	265	раннеспелый	
	Пакистан	278	раннеспелый	
	Индия	321	позднеспелый	
	Индия	357	позднеспелый	
	Индия	вр.к-374	позднеспелый	
	Афганистан	вр.к-450	позднеспелый	
	Бутан	вр.к-693	раннеспелый	
Юго-Восточная Азия	Индонезия	77	раннеспелый	11
	Бирма	328	раннеспелый	
	Вьетнам	343	раннеспелый	
	Вьетнам	346	раннеспелый	
	Лаос	369	раннеспелый	
	Лаос	370	раннеспелый	
	Бирма	вр.к-421	раннеспелый	
	М. Азия	вр.к-452	раннеспелый	
	М. Азия	вр.к-498	раннеспелый	
	Вьетнам	вр.к-576	раннеспелый	
	Вьетнам	вр.к-686	раннеспелый	

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Регион	Происхождение	№ по каталогу ВИР	Длительность вегетации	Количество
Африка	Египет	233	раннеспелый	6
	Египет	241	раннеспелый	
	Сомали	249	раннеспелый	
	Сомали	304	раннеспелый	
	Гана	320	раннеспелый	
	Египет	436	позднеспелый	
Северная Америка	Канада	39	раннеспелый	3
	Канада	141	раннеспелый	
	США	398	раннеспелый	
Южная Америка	Чили	вр.к-326	позднеспелый	1
Всего:				67

трана. Хлорофиллы и каротиноиды выделяли ацетоном, их абсорбцию измеряли на спектрофотометре при 663 нм (хлорофилл *a*), 645 нм (хлорофилл *b*), 440 нм (каротиноиды), 454 нм (β -каротин). Сумму каротинов исследовали методом бумажной хроматографии с последующим определением оптической плотности на спектрофотометре (Ermakov et al., 1987). Сумму антоцианов – спектрометрическим методом, выделяя их однопроцентным раствором соляной кислоты (Chupakhina, Maslennikov, 2004).

Результаты исследований

В результате проведенных исследований нами получены экспериментальные данные, характеризующие биохимический состав образцов кориандра коллекции ВИР по 13 показателям (табл. 2). Наличие значительной изменчивости в содержании веществ отдельных растений дает возможность проводить селекционную работу на улучшение химического состава зеленой массы кориан-

Таблица 2. Диапазон изменчивости биохимического состава зеленой массы кориандра
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019)**Table 2. Ranges of variability for biochemical components in the green biomass of coriander accessions**
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019)

Содержание	Единица измерения	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	CV**, %
Сухие вещества	%	14,23 $\pm$ 0,28*	9,20	19,68	16,61
Сумма сахаров, в том числе:	%	1,87 $\pm$ 0,54	0,49	3,03	29,30
Моносахара	%	1,62 $\pm$ 0,07	0,21	2,78	33,61
Дисахара	%	0,25 $\pm$ 0,04	0,00	1,36	34,82
Общая кислотность (на яблочную кислоту)	%	0,333 $\pm$ 0,01	0,197	0,626	20,33
Аскорбиновая кислота	%	22,27 $\pm$ 0,60	12,0	33,60	22,27
Хлорофиллы, в том числе:	мг/100 г	120,2 $\pm$ 3,90	50,62	194,0	27,02
Хлорофилл <i>a</i>	мг/100 г	84,84 $\pm$ 2,81	35,62	135,3	27,61
Хлорофилл <i>b</i>	мг/100 г	35,40 $\pm$ 1,16	15,00	58,69	27,40
Каротиноиды, в том числе:	мг/100 г	61,85 $\pm$ 1,91	27,17	98,70	25,70
Каротины	мг/100 г	8,04 $\pm$ 0,39	2,78	17,27	40,97
β -каротин	мг/100 г	5,55 $\pm$ 0,19	2,33	8,90	27,79
Антоцианы	мг/100 г	13,40 $\pm$ 0,39	7,62	21,54	24,10

* – стандартная ошибка; ** – коэффициент вариации

* – standard error; ** – coefficient of variation

дра, используя образцы, выделенные по другим хозяйственно ценным свойствам.

Кориандр накапливает значительное количество сухих веществ, которое колеблется в пределах от 9,2 до 19,7%. Наибольший размах изменчивости биохимических показателей наблюдался по содержанию каротинов (CV = 41%).

Сахары. Суммарное содержание сахаров в зеленой массе кориандра составляло в среднем 13% от содержания сухих веществ. Причем преобладающей формой являлись простые сахара (до 90% общего количества).

Варьирование этого показателя в зависимости от происхождения образца было значительным (от 0,2 до 2,8%). На рисунке 1 показано соотношение моно- и дисахаров в зеленой массе кориандра различного географического происхождения. Две группы образцов из Южной Америки и России накапливали наравне с моносахарами значительное количество дисахаров.

Сумма сахаров варьировала от 0,42 до 2,78% у раннеспелых образцов и от 0,79 до 3,03% у позднеспелых (CV 28% и 31% соответственно). Сравнение вышеупомянутых групп показало (рис. 2), что при практически равном суммарном содержании (1,90 и 1,83% соответственно)

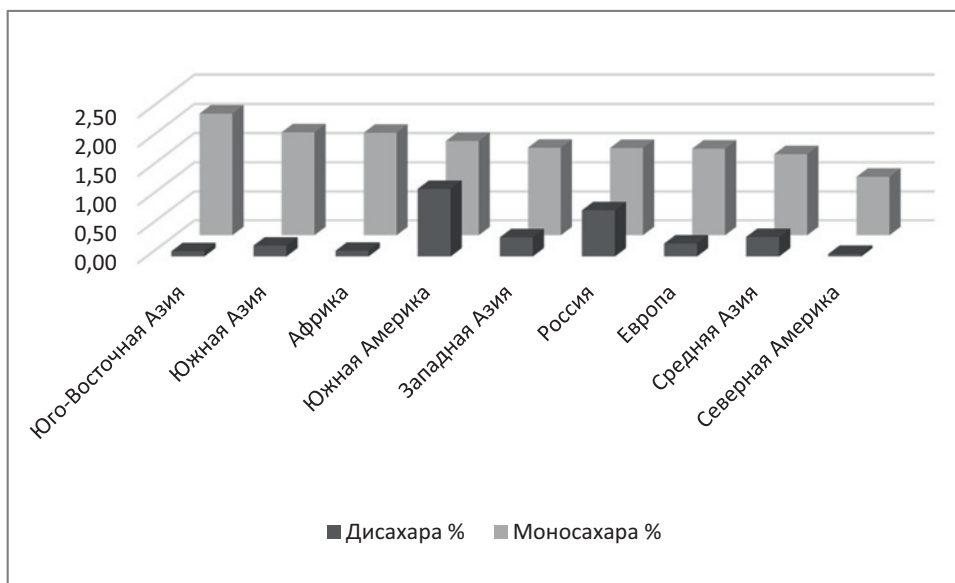


Рис. 1. Распределение моно- и дисахаров в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) различного происхождения (в %)

Fig. 1. Distribution of mono- and disaccharides in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) of different origin (in %)

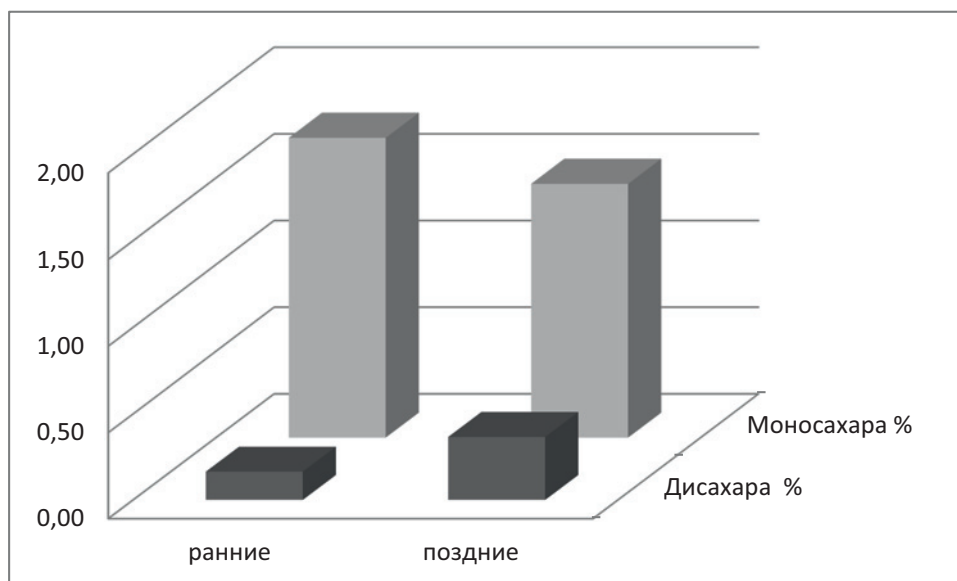


Рис. 2. Распределение моно- и дисахаров в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в %)

Fig. 2. Distribution of mono- and disaccharides in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in %)

у раннеспелых образцов выше количество простых сахаров (1,73 и 1,47%), а у позднеспелых – сахарозы (0,16 и 0,37%).

Среди образцов с высокими показателями сахаров (2,53–3,03%) выявлено два раннеспелых: к-249 (Сомали), к-346 (Вьетнам) и три позднеспелых: к-87 (Дагестан), к-440 (Сирия) и вр.к-326 (Чили).

Органические кислоты. Содержание свободных органических кислот в вегетативных органах у пряных культур невелико и составляет 0,1–0,2% в расчете на яблочную кислоту. В нашем исследовании этот показатель в зеленой массе кориандра составил 0,333% с диапазоном изменчивости от 0,197 до 0,626%. Существенных различий ($CV = 20\%$) между образцами кориандра разных эколого-географических групп не установлено. Однако образцы из Южной и Юго-Восточной Азии содержали немного больше органических кислот (0,372 и 0,349% соответственно).

Сравнение ранне- и позднеспелых образцов кориандра выявило между ними существенные различия по количеству органических кислот в зеленой массе (0,345 ± 0,008 и 0,318 ± 0,014 соответственно) (рис. 3).

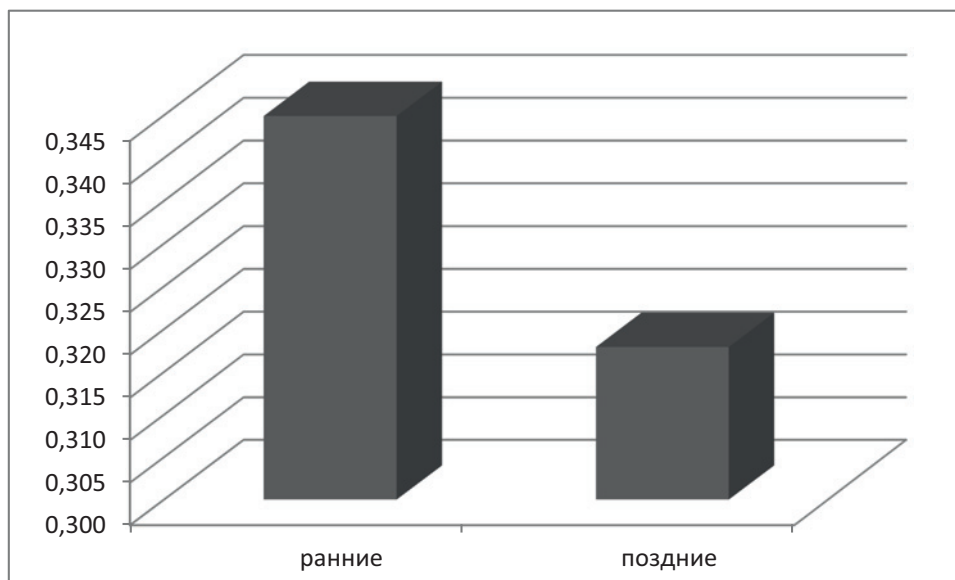


Рис. 3. Распределение суммарного содержания свободных органических кислот в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в % на яблочную кислоту)

Fig.3. Distribution of the total free organic acid content in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in % malic acid)

Из проанализированной выборки у четырех образцов накопление свободных органических кислот превысило 0,422%. Максимальное содержание кислот (0,626%) отмечено в недавно поступившем в коллекцию позднеспелом образце вр.к-329 из Грузии, в остальных таковое достигало 0,422–0,477%: к-28 (Индия), к-265 (Индия) и к-278 (Пакистан). Последние три относятся к скороспелой группе.

Аскорбиновая кислота. Для пряных культур характерно значительное количество витамина С. Изученная нами зеленая масса кориандра содержала в среднем 22 мг/100 г аскорбиновой кислоты (от 12,0 до 33,6 мг/100 г). Выделена группа образцов из России

с повышенным количеством таковой (в среднем 30,8 мг/100 г). Средние показатели для образцов остальных эколого-географических групп варьировали от 17,6 до 23,7 мг/100 г. Ранне- и позднеспелые формы практически не различались по содержанию витамина С (22,5 и 22 мг/100 г).

Выделено пять образцов с повышенным содержанием аскорбиновой кислоты (более 30 мг/100 г): четыре раннеспелых – к-37 (Ирак), к-190 (Азербайджан), вр.к-452 (М. Азия), вр.к-498 (М. Азия) и один позднеспелый – к-264 (Россия).

Пигменты. К биологическим пигментам (*биохромам*) относятся окрашенные вещества, входящие в состав тканей организмов. Цвет определяется наличием в их молекулах хромофорных групп, избирательно поглощающих свет в определенной части видимого спектра солнечного света (Britton, 1986). Система биохромов – звено, связывающее световые условия окружающей среды и обмен веществ организма. Пигменты играют важную роль в жизнедеятельности живых объектов и являются биологически активными веществами.

Хлорофиллы. Известно, что у всех высших растений содержатся хлорофиллы *a* и *b*, играющие важную роль в процессе фотосинтеза и отвечающие за зеленую окраску тканей, прежде всего листьев. Количество хлорофилла *a* в клетках, как правило, больше (примерно в 1,5 раза), чем хлорофилла *b*. Хлорофилл *a* считается универсальным пигментом, который определяет направление и скорость фотосинтеза. Хлорофилл *b* – регулятор продуктивности и развития растений. Если наблюдается недостаток хлорофилла *b*, идет задержка цветения и уменьшение размера листьев, а также преждевременное их старение. Для сельского хозяйства это означает уменьшение биомассы растений и, как следствие, снижение урожайности (Tyutereva et al., 2017).

Общее содержание хлорофиллов в изученных образцах варьировало от 50,62 до 194,0 мг/100 г (среднее значение 120 мг/100 г). В нашем исследовании количество хлорофилла *a* превышало хлорофилл *b* в среднем в 2,5 раза. Диапазон изменчивости хлорофилла *a* установлен в пределах от 35,62 до 135,3 мг/100 г (среднее значение 85 мг/100 г), хлорофилла *b* – от 15,00 до 58,69 мг/100 г (среднее значение 35 мг/100 г). На рисунке 4 видно, что высоким содержанием хлорофиллов от-

личились 4 группы образцов (по убыванию): из России, из Средней Азии, из Южной Америки и из Западной Азии. Повышенное количество хлорофиллов *a* и *b* было отмечено для позднеспелых форм (рис. 5).

С наибольшим содержанием хлорофиллов (более 170 мг/100 г) выделились пять образцов: два раннеспелых – к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и три позднеспелых – к-237 (Казахстан), к-440 (Сирия), вр.к-708 (Германия).

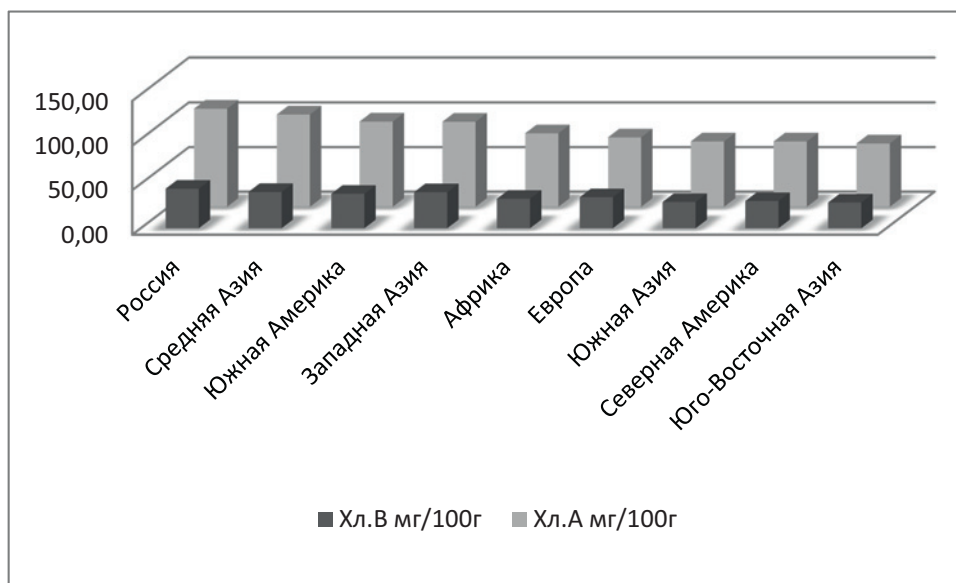


Рис. 4. Распределение хлорофиллов *a* и *b* в зеленой массе кориандра (*Coriandrum sativum* L.) в зависимости от происхождения образцов (в мг/100 г)

Fig. 4. Distribution of chlorophylls *a* and *b* in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) depending on their origin (in mg/100 g)

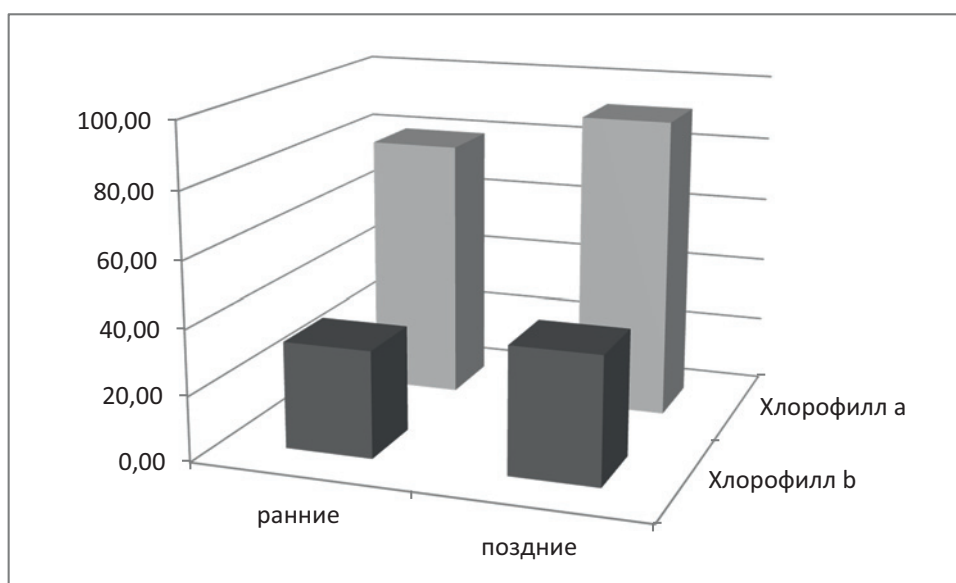


Рис. 5. Распределение хлорофиллов *a* и *b* в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в мг/100 г)

Fig. 5. Distribution of chlorophylls *a* and *b* in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in mg/100 g)

Каротиноиды. Желтые пигменты – каротиноиды – широко распространены в растениях, представляют собой смесь ксантофиллов (60%) и каротинов (40%) и являются биологически активными веществами. Они образуются наряду с хлорофиллом в зеленых тканях растений, и их цвет часто замаскирован молекулами хлорофилла.

Изучение коллекционного материала показало, что содержание каротиноидов в среднем составило 61,85 мг/100 г (27,17–98,70 мг/100 г), каротина – 8,04 мг/100 г (2,78–17,27 мг/100 г), β-каротина – 5,53 мг/100 г (2,33–8,90 мг/100 г). Как видно из таблицы 2, по содержанию каротина наблюдалась высокая изменчивость (CV 41%).

Размах изменчивости каротиноидов и каротинов определялся происхождением образцов. Высоким содержанием данных соединений выделились те же группы, что и при анализе показателей хлорофиллов.

Соотношение β-каротина и суммы каротинов в среднем составляло 74% (45–100%). В зависимости от срока

созревания у раннеспелых оно равнялось 76%, у позднеспелых – 62% (рис. 6).

В проанализированной выборке выделилось четыре образца с высоким содержанием каротиноидов (более 90 мг/100 г), два раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и два позднеспелых: к-207 (Азербайджан), к-440 (Сирия). Значительные показатели суммы каротинов (более 14 мг/100 г) отмечены у трех позднеспелых форм: к-87 (Дагестан), к-207 (Азербайджан) и к-217 (Азербайджан). В изучаемом наборе выявлено четыре образца с содержанием β-каротина выше 8 мг/100 г, два из которых относятся к раннеспелым: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и два к позднеспелым: к-440 (Сирия) и вр.к-708 (Германия).

Взаимосвязь содержания хлорофиллов с каротиноидами показана в таблице 3, из которой видно, что большая часть образцов (около 70%) характеризовались повышенным (более 100 мг/100 г) содержанием хлорофиллов. При этом большинство из них также отличалось высоким содержанием каротиноидов.

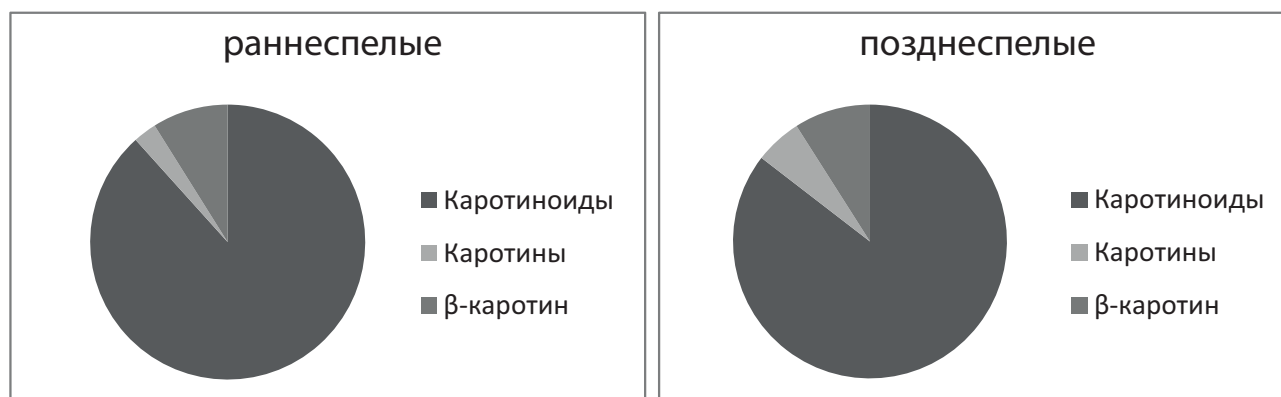


Рис. 6. Распределение каротиноидов, каротинов и β-каротина в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в мг/100 г)

Fig. 6. Distribution of carotenoids, carotenes and β-carotene in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in mg/100 g)

Таблица 3. Распределение образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) в зависимости от содержания хлорофиллов и каротиноидов (2019 г.)

Table 3. Distribution of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) depending on the content of chlorophylls and carotenoids (2019)

Содержание хлорофиллов, мг/100 г	Количество образцов с содержанием каротиноидов, мг/100 г						Итого
	≤ 30,0	30,1–45,0	45,1–60,0	60,1–75,0	75,1–90,0	≥ 90	
≤ 50,0	1	–	–	–	–	–	1
50,1–75,0	1	5	–	–	–	–	6
75,1–100,0	–	2	12	–	–	–	14
100,1–125,0	–	–	14	8	–	–	22
125,1–150,0	–	–	–	10	1	–	11
≥ 150,0	–	–	–	–	9	4	13
Итого	2	7	26	18	10	4	67

Антоцианы. Еще одна группа растительных пигментов, которые представляют собой окрашенные растительные гликозиды, содержащие в качестве агликона антоцианидины, из группы флавоноидов. Они находятся как в генеративных, так и в вегетативных органах растений, обуславливая красную, фиолетовую и синюю окраски. Антоцианы содержатся в цитоплазме клеток постоянно либо появляются на определенной стадии развития растений, в том числе в результате действия стрессора. Последнее обстоятельство навело ученых на мысль, что антоцианы нужны не только для того, чтобы яркой окраской привлекать насекомых – опылителей и распространителей семян, но и для борьбы с различными типами стрессоров (Karabanov, 1981).

В исследуемых образцах диапазон изменчивости содержания антоцианов составлял от 7,62 до 21,54 мг/100 г (в среднем 13,40 мг/100 г). Нами были выделены 4 группы образцов с повышенным содержанием антоцианов (по убыванию): из Америки (Южной и Северной), из Южной Азии и из Европы (средние значения: 17,29, 15,65, 14,90 и 14,82 мг/100 г соответственно). Ранне- и позднеспелые формы кориандра по накоплению антоцианов практически не различались (13,51 и 13,23 мг/100 г).

Выделено четыре образца с повышенным содержанием антоцианов (19,09–21,54 мг/100 г): три раннеспелых: к-77 (Индонезия), к-141 (Канада), к-148 (Аджария) и один позднеспелый – к-321 из Индии.

Проведенный анализ показал как сложную наследственную обусловленность химического состава кориан-

дра, так и непростые взаимосвязи между его компонентами. Поэтому целесообразным является всестороннее изучение исходного материала для выделения биотипов, характеризующихся комплексом биологических и хозяйственно ценных признаков (свойств).

Исходный материал для селекции. Наиболее важные направления использования кориандра, в том числе в селекции, определяются его химическим составом, позволяющим пополнять рацион человека полезными для здоровья биологически активными веществами. Несмотря на то что кориандр не относится к культурам интенсивного типа, подбор биотипов, характеризующихся оптимальным сочетанием целого ряда важных питательных компонентов, остается актуальным. Поэтому выделение образцов со стабильным комплексом хозяйственно ценных признаков – перспективная задача для современного сельского хозяйства на научной основе (табл. 4).

Из таблицы 4 видно, что из числа изученных выделяется образец к-440 (Сирия), у которого повышенное содержание аскорбиновой кислоты (28,8 мг/100 г) сочетается с высоким уровнем хлорофиллов *a* и *b* (184,62 мг/100 г), каротиноидов (90,8 мг/100 г), β -каротина (8,53 мг/100 г), антоцианов (13,72 мг/100 г) и сахаров (3,03%). Приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о сложных взаимосвязях между отдельными компонентами биохимического состава кориандра и генотипом образца.

Таблица 4. Выделившиеся по химическому составу образцы *Coriandrum sativum* L. (2019 г.)

Table 4. Accessions of *Coriandrum sativum* L. identified for their chemical composition (2019)

Образец: номер по каталогу ВИР, происхождение	Содержание						
	Сумма сахаров, %	Органические кислоты, в % на ябл.к.*	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Хлорофиллы, мг/100 г	Каротиноиды, мг/100 г	β -каротин, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г
к-77, Индонезия	0,94	0,340	24,0	153,31	79,61	7,05	21,54
к-93, Иран	1,45	0,286	18,4	194,00	90,33	8,90	11,12
к-150, Армения	1,50	0,368	28,8	138,41	69,43	6,58	11,08
к-173, Казахстан	1,10	0,354	22,4	162,71	83,20	7,59	7,77
к-205, Индия	1,35	0,408	25,6	101,22	52,12	4,63	11,56
к-217, Азербайджан	1,50	0,320	28,0	175,46	90,87	8,39	13,10
к-440, Сирия	3,03	0,228	28,8	184,62	90,80	8,53	13,72
к-443, Великобритания	1,58	0,408	22,4	91,86	47,69	4,18	16,04
вр.к-708, Германия	2,03	0,313	15,2	182,48	88,71	8,46	10,26

* – в % на яблочную кислоту

* – in % malic acid

Заключение

В результате проведенных исследований были получены новые данные о биохимическом составе зеленой массы кориандра. Причем фактором, достоверно влияющим на содержание его отдельных компонентов, являются наследственные особенности образца, в частности его происхождение. Наибольший размах изменчивости показателей химического состава отмечен по содержанию каротинов (CV = 41%).

Нами были выделены образцы – потенциальные источники питательных и биологически активных веществ.

У четырех образцов накопление свободных органических кислот превысило 0,422%. Максимальное содержание (0,626%) отмечено у недавно поступившего в коллекцию позднеспелого образца вр.к-329 из Грузии, для остальных – к-28 (Индия), к-265 (Индия) и к-278 (Пакистан) – этот показатель достигал 0,422–0,477. Последние три относятся к скороспелой группе.

Высокое содержание сахаров (2,53–3,03%) отмечено для раннеспелых образцов к-249 (Сомали), к-346 (Вьетнам), позднеспелых: к-87 (Дагестан), к-440 (Сирия), вр.к-326 (Чили);

– аскорбиновой кислоты (более 30 мг/100г) – для раннеспелых: к-37 (Ирак), к-190 (Азербайджан), вр.к-452 (М. Азия), вр.к-498 (М. Азия) и позднеспелого к-264 (Россия);

– хлорофиллов (более 170 мг/100 г) – для раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и позднеспелых: к-237 (Казахстан), к-440 (Сирия), вр.к.-708 (Германия);

– каротиноидов (более 90 мг/100 г) – для раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и позднеспелых: к-207 (Азербайджан), к-440 (Сирия);

– суммы каротинов (более 14 мг/100 г) – для позднеспелых: к-87 (Дагестан), к-207 (Азербайджан) и к-217 (Азербайджан);

– β-каротина (выше 8 мг/100 г) – для раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и позднеспелых: к-440 (Сирия) и вр.к-708 (Германия);

– антоцианов (19,09–21,54 мг/100г) – для раннеспелых: к-77 (Индонезия), к-141 (Канада), к-148 (Аджария) и позднеспелого: к-321 из Индии.

Приведенные выше образцы с оптимальным компонентным составом предлагается использовать в селекции на качество и для получения сортов для здорового функционального и лечебно-профилактического питания человека.

Исследованный полиморфный вид *Coriandrum sativum* имеет сложный биохимический состав, характеризующий данные образцы как «потенциально» высокоценные, что подтверждает необходимость углубленного контроля биохимического состава растений при выведении новых сортов, наравне с другими хозяйственно ценными показателями.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0003 «Генетические ресурсы овощных и бахчевых культур мировой коллекции ВИР: эффективные пути расширения разнообразия, раскрытия закономерностей наследственной изменчивости, использования адаптивного потенциала».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-003 "Genetic resources of vegetable and cucurbit crops in the VIR global collection: effective ways to expand their diversity, disclose the patterns of hereditary variability, and use their adaptive potential".

References / Литература

- Bochkaryov N.I., Zelentsov S.V., Moshnenko E.V. Morphology, taxonomy, and breeding coriander (review). *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2014;2(159-160):178-195. [in Russian] [Бочкарев Н.И., Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Морфология, таксономия, методы селекции и характеристика сортов кориандра посевного (обзор). *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2014;2(159-160):178-195].
- Britton G. The biochemistry of natural pigments. Moscow: Mir; 1986. [in Russian] [Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. Москва: Мир; 1986].
- Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. (comp.). Methods of vitamin analysis: A practicum (Metody analiza vitaminov. Praktikum). Kaliningrad: Kaliningrad State University; 2004. [in Russian] [Методы анализа витаминов: Практикум / сост. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Калининград: Калининградский государственный университет; 2004]. DOI: 10.13140/2.1.1147.7449
- Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] [Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Агропромиздат; 1987].
- Guidelines for the maintenance and study of root plant collections (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniiyu i izucheniiyu kollektsiy korneplodnykh rasteniy). Leningrad: VIR; 1981. [in Russian] [Методические указания по поддержанию и изучению коллекций корнеплодных растений. Ленинград: ВИР; 1981].
- Ivanov M.G. Agronomic assessment of the effectiveness of growing non-traditional spicy and aromatic crops in the Northwest of Russia (Agronomicheskaya otsenka effektivnosti vyrashchivaniya netraditsionnykh pryanoaromaticeskikh kultur na Severo-Zapade Rossii). *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2010;19:132-136. [in Russian] [Иванов М.Г. Агрономическая оценка эффективности выращивания нетрадиционных пряноароматических культур на Северо-Западе России. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2010;19:132-136].
- Karabanov I.A. Flavonoids in the plant world (Flavonoidy v mire rasteniy). Minsk: UraJay; 1981. [in Russian] [Карабанов И.А. Флавоноиды в мире растений. Минск: Ураджай; 1981].
- Krylova I.V., Sidorova V.V., Kerv Yu.A. Biochemical composition of *Coriandrum sativum* L. meal under different methods of extraction of essential oil. *Agrarian Russia*. 2019;8:16-25. [in Russian] [Крылова И.В., Сидорова В.В., Керв Ю.А. Биохимический состав шротов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) при различных способах экстракции эфирного масла. *Аграрная Россия*. 2019;8:16-25]. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-8-16-25
- Mahamane K.A., Ahire P., Kadam V., Nikam Y.P. Biochemical investigation of "*Coriandrum sativum*" L. (corian-

- der). *International Journal of Advanced Research*. 2016;4(10):1909-1912. DOI:10.21474/IJAR01/2003
- Mironenko I.M., Khodykina V.V., Glotov V.A., Shiryaev A.V. Volatile oil plants of Belogorye (Efironosy Belogorya). Belgorod; 2004. [in Russian] (Мироненко И.М., Ходыкина В.В., Глотов В.А., Ширяев А.В. Эфироносы Белогорья. Белгород; 2004).
- Msaada K., Jmia M.B., Salem N., Bachrouh O., Sriri J., Tamar S. et al. Antioxidant activity of methanolic extracts from three coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit varieties. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017;10:3176-3183. DOI: 10.1016/J.ARABJC.2013.12.011
- Mukhortov S.Ya., Tikhomirova I.B. Seed productivity of coriander depending on cultivation techniques. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;3(58):32-37. [in Russian] (Мухортов С.Я., Тихомирова И.Б. Семенная продуктивность кориандра посевного в зависимости от приемов возделывания. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018; 3(58):32-37). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.32
- Nersesyan Z.M., Parkhomenko A.Yu., Pogorely V.E., Makarova L.M., Oganessian E.T. Chemical composition and pharmacological activity of the herb extract from cultivated coriander (Khimicheskiy sostav i farmakologicheskaya aktivnost ekstrakta travy koriandra posevnogo). *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2006;S23:49-51. [in Russian] (Нерсисян З.М., Пархоменко А.Ю., Погорелый В.Е., Макарова Л.М., Оганесян Э.Т. Химический состав и фармакологическая активность экстракта травы кориандра посевного. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2006;S23:49-51).
- Oganessian E.T., Nersesyan Z.M., Parkhomenko A.Yu. Chemical composition of the above-ground part of *Coriandrum sativum*. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2007;3(41):149-153. DOI: 10.1007/s11094-007-0033-2
- Pashtetskiy V.S., Verdysh M.V., Popova A.A., Kolesnikova A.V. Analysis of essential oils markets and state of essential production in the Russian Federation. *Construction Economic and Environmental Management*. 2017;4(65):49-54. [in Russian] (Паштетский В.С., Вердыш М.В., Попова А.А., Колесникова А.В. Анализ рынков эфиромасличной продукции и состояния эфиромасличного производства в Российской Федерации. *Экономика строительства и природопользования*. 2017;4(65):49-54).
- Poshnev P.V., Rosanov V.A. The processing impact by minerals on efficiency and productivity of raw materials of a coriander (*Coriandrum sativum* L.). In: *Modern Trends in the Development of Healthcare Technologies: Proceedings of the Seventh Scientific Conference (Sovremennye tendentsii razvitiya tekhnologiy zdorovyesberezeniya. Sbornik trydov sedmoy nauchnoy konferentsii)*. Moscow: VILAR; 2019. p.72-78. [in Russian] (Почуев П.В., Розанов В.А. Влияние обработки микроэлементами на продуктивность и урожайность сырья кориандра посевного (*Coriandrum sativum* L.). В кн.: *Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник трудов седьмой научной конференции*. Москва: ВИЛАР; 2019. С.72-78).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow: Rosinformagrotekh; 2019. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2019).
- Tyutereva E.V., Dmitrieva V.A., Voitsekhovskaja O.V. Chlorophyll b as a source of signals steering plant development (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(5): 843-855. [in Russian] (Тютерева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(5):843-855). DOI: 10.15389/agrobio.2017.5.843rus

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Хмелинская Т.В., Смоленская А.Е., Соловьева А.Е. Комплексная биохимическая характеристика кориандра (*Coriandrum sativum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):80-90. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

Khmelninskaya T.V., Smolenskaya A.E., Solovyeva A.E. Complex biochemical characteristics of *Coriandrum sativum* L. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):80-90. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

ORCID

Tkhmelinskaya T.V. <https://orcid.org/0000-0001-5425-1268>

Smolenskaya A.E. <https://orcid.org/0000-0001-6062-4139>

Solovyeva A.E. <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-80-90>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

Технологические свойства зерна и муки у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – носителей локусов *Ha* и *Ha-Sp*, определяющих структуру эндосперма

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-91-98

УДК 633.111.1:575.21

Поступление/Received: 14.10.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



Technological properties of grain and flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes carrying two loci that determine the endosperm structure

А. В. СИМОНОВ*, Т. А. ПШЕНИЧНИКОВА

A. V. SIMONOV*, T. A. PSHENICHNIKOVA

Федеральный исследовательский центр
Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения РАН,
630090 Россия, г. Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, 10

* ✉ sialexander@bionet.nsc.ru✉ wheatpsh@bionet.nsc.ru

Institute of Cytology and Genetics,
Siberian Branch
of the RAS,

10 Lavrentyeva Ave.,

Novosibirsk 630090, Russia

* ✉ sialexander@bionet.nsc.ru✉ wheatpsh@bionet.nsc.ru

Актуальность. Назначение зерна мягкой пшеницы зависит от свойств эндосперма, определяемых аллелями генов *Pina* и *Pinb* в локусе *Ha* хромосомы 5D. Мучнистый эндосperm обусловлен биосинтезом кодируемых этими генами полноценных белков пуриноидинов. При размоле такое зерно распадается на мелкие крахмальные гранулы, покрытые белками. Мутации, нарушающие синтез или структуру пуриноидинов, обуславливают твердость и стекловидность зерна. Ранее нами был обнаружен новый локус мягкозерности *Ha-Sp*, интрогрессированный в хромосому 5A мягкой пшеницы от диплоидного вида *Aegilops speltoides* Tausch, который также определяет образование мягкой структуры эндосперма. Объединив два активных локуса в одном генотипе, мы создали супермягкозерную линию (SSL). Целью данной работы было верифицировать взаимодействие двух локусов *Ha* и *Ha-Sp* в других генотипах мягкой пшеницы и оценить технологические свойства зерна и муки по сравнению с имеющейся линией SSL.

Материалы и методы. В работе использованы яровые гибриды F_3 – F_8 мягкозерных сортов 'Голубка' и 'Лютесценс 62', носителей локуса *Ha*, с интрогрессивной озимой линией 84/98^w, носителем локуса *Ha-Sp*. Зерно с трех полевых вегетаций изучалось по мукомольным показателям и физическим свойствам муки и теста.

Результаты. На ранних этапах отбора ($F_{3,4}$) отмечены семьи с типичными для мягкой пшеницы мукомольными параметрами, а также супермягкозерные с малым размером частиц муки (9–10 мкм) и низкой стекловидностью эндосперма (29–49%). Направленный отбор позволил получить линии, сходные с линией SSL по мукомольным показателям и силе муки.

Выводы. На генетической основе трех яровых сортов впервые получен набор супермягкозерных линий со специальными свойствами зерна и муки. Они могут быть востребованы в производстве как в пищевых, так и в технических целях. Полученные линии нуждаются во всесторонней оценке специалистов-технологов пищевого и непищевого производства.

Ключевые слова: интрогрессия генов, мягкозерность, стекловидность и мучнистость эндосперма, физические свойства муки и теста.

Background. The end-use of the bread wheat grain depends on the endosperm properties determined by the alleles of the *Pina* and *Pinb* genes at the *Ha* locus on chromosome 5D. The mealy (soft) endosperm is generated by the biosynthesis of puroindolines – complete proteins encoded by these genes. When milled, such grain breaks down into small starch granules covered with proteins. Mutations that disrupt the synthesis or structure of puroindolines determine the hardness and vitreousness of the grain. Earlier, we discovered a new locus for grain softness, *Ha-Sp*, introgressed from the diploid species *Aegilops speltoides* Tausch, which also determines the formation of the soft endosperm structure. By combining two active loci in one genotype, we produced a supersoft grain line (SSL). The aim of the present work was to verify the interaction of the two loci *Ha* and *Ha-Sp* in other wheat genotypes and evaluate the technological properties of grain and flour in comparison with the existing SSL line.

Materials and methods. The F_3 – F_8 hybrids from crosses of the soft-grain spring cultivars 'Golubka' and 'Lutescens 62', carriers of the *Ha* locus, with the introgressive line 84/98^w, carrier of the *Ha-Sp* locus, were used in the work. Grain from three field seasons was studied according to milling parameters and physical properties of flour and dough.

Results. At the early stages of selection ($F_{3,4}$), the families with milling parameters typical of bread wheat were identified, as well as supersoft-grain families with a small flour particle size (9–10 μm) and low endosperm vitreousness (29–49%). Targeted selection made it possible to obtain lines similar to the SSL line in terms of milling performance and flour strength.

Conclusion. For the first time, a set of supersoft-grain lines with special properties of grain and flour was obtained on the genetic basis of three spring cultivars. They may be in demand for a wide range of end-uses, including both food and nonfood production purposes.

Key words: introgression of genes, grain softness, endosperm vitreousness and mealiness, physical properties of flour and dough.

Введение

Основная изменчивость структуры эндосперма у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) определяется аллельным состоянием генов *Pina* и *Pinb* в локусе *Ha*, расположенным в хромосоме 5D (Morris, 2002). Продуктами этих генов являются белки пуроиндолины, ответственные за связывание крахмала и белков клейковины. Доминантное состояние этих генов определяет биосинтез целых неповрежденных молекул этих белков и образование регулярных белково-крахмальных гранул определенного размера. При этом формируется мучнистый тип эндосперма (Giroux, Morris, 1998). Мутации в генах *Pina* и *Pinb* приводят к синтезу неполноценных молекул пуроиндолинов или полной блокировке их синтеза (нуль-аллели) и вследствие этого к неправильной упаковке крахмала в белковый каркас и образованию крупных неоднородных агрегатов в эндосперме. Такой эндосперм имеет высокую степень твердости. В первом случае частицы крахмала при размоле зерна высвобождаются целиком и плохо усваиваются дрожжами при брожении. Во втором случае происходит раскалывание крупных частиц, и крахмал становится легко доступным для дрожжей (Kozmina, 1955). Такие различия по структуре эндосперма зерновки определяют конечное назначение зерна, которое имеет национальные и культурные особенности использования. Для производства разных изделий из муки требуется зерно с разными технологическими свойствами (Refa, 2002). Если для дрожжевого хлебопечения важны высокая твердозерность и стекловидность зерна, то для кондитерских целей, напротив, используется мука мягкозерных сортов пшеницы. Для многих национальных мучных изделий также необходимо зерно с различным уровнем твердозерности.

Ранее нами был обнаружен новый локус *Ha-Sp* мягкозерности, интрогрессированный в хромосому 5A мягкой пшеницы от диплоидного вида *Aegilops speltoides* Tausch (Pshenichnikova et al., 2010). Этот локус, подобно доминантному локусу *Ha*, определяет образование зерновок пшеницы с мягкой структурой эндосперма. Путем гибридизации линии, содержащей интрогрессию этого гена, с сортом 'Chinese Spring' (CS), который несет доминантный аллель гена *Ha* в хромосоме 5D и является мягкозерным, нам удалось впервые получить линию пшеницы, несущую два гена мягкозерности эндосперма. Взаимодействие этих генов выражалось в формировании зерна с уникальными мукомольными характеристиками (Simonov et al., 2017). Зерно полученной линии при размоле давало очень маленький размер частиц муки и стекловидность менее 50%. Недавно индийские ученые сообщили о введении в пшеницу гена мягкозерности от вида *Ae. triuncialis* L. Этот ген также приводил к образованию мучнистого эндосперма (Sharma et al., 2020). Комбинация таких генов может давать сорта с самой разнообразной структурой эндосперма и различными свойствами муки.

Цель данной работы – верифицировать взаимодействие двух генов *Ha-Sp* и *Ha* в других генотипах мягкой пшеницы и сравнить их эффект на технологические свойства зерна и муки с характеристиками уже имеющейся супермягкозерной линии.

Материалы и методы

Генетический материал. Объектом исследований были яровые гибриды F_3 – F_8 мягкозерных сортов 'Голубка' и 'Лютесценс 62' с интрогрессивной озимой ли-

нией 84/98^w из коллекции «Арсенал». Сорта 'Голубка' и 'Лютесценс 62' относятся к сортам стародавней селекции и имеют мягкий мучнистый эндосперм зерновки. Интрогрессивная линия 84/98^w создана путем индивидуального отбора из F_2M_2 – F_4M_4 асимметричных половых гибридов F_1M_1 ($2n = 49$) популяции Родина × *Ae. speltoides* (Lapochkina, Yatchevskaya, 1997). Данная линия унаследовала от этого вида локус мягкозерности *Ha-Sp* (Pshenichnikova et al., 2010). Отбор в каждом поколении проводился на наименьшую стекловидность с периодическим контролем размера частиц муки при размоле. Для сравнения технологических параметров использовали супермягкозерную гибридную линию SSL (supersoft line), несущую два локуса мягкозерности *Ha* и *Ha-Sp* (Simonov et al., 2017).

Условия выращивания. Зерно для анализа технологических свойств получали при яровом посеве на экспериментальном поле Института цитологии и генетики СО РАН (микрорайон Академгородок, Новосибирская область) в 2016–2018 гг. Посев проводили по пару на делянках метровой ширины с расстоянием между рядками 15 см, по 5–10 рядков. Осуществлялся механизированный и ручной уход за растениями – рыхление, опрыскивание инсектицидами, гербицидами и фунгицидами по необходимости. Уборка производилась снопами в фазе «восковая – полная спелость» с последующим дозариванием зерна в снопах.

Анализ технологических свойств зерна. Общую стекловидность зерна определяли визуально после разрезания ста зерновок пополам. Под показателем общей стекловидности понимают сумму полностью стекловидных и половины количества частично стекловидных зерен (GOST 10987-76..., 2001).

Средний диаметр частиц муки (ДЧМ), характеризующий твердозерность, определяли на приборе ПСХ-4 с помощью ранее описанной методики (Shibaev et al., 1974). Физические свойства теста яровых форм определяли на альвеографе из 50 г муки 70-процентного выхода и включали определение силы муки (*W*, единиц альвеографа – е.а.), упругости теста (*P*, мм), растяжимости теста (*L*, мм). Сбалансированность теста рассчитывалась как отношение упругости к растяжимости (*P/L*). Эти показатели не изучали у озимой линии 84/98^w, так как она не морозостойкая в условиях Западной Сибири, а также у сорта CS, который слишком позднеспелый. Содержание белка определяли косвенным способом без размола зерна по инфракрасным спектрам на приборе OmegaAnalyserG.

Содержание сырой клейковины в зерне определяли путем отмывания вручную в воде из двух граммов шрота (GOST P 54478-2011..., 2012). Количество сырой клейковины выражали в процентах от веса шрота.

Цифровые значения всех технологических показателей представлены в таблицах 1 и 2.

Результаты и обсуждение

Ранее на основе гибрида между сортом 'Chinese Spring' и линией 84/98^w мы получили линию SSL с мукомольными характеристиками, не свойственными мягкой пшенице (Simonov et al., 2017). Эта линия имела зерно со стекловидностью от 16 до 43%, диаметром частиц муки около 10 мкм и была названа супермягкозерной. Эти свойства обусловлены аддитивным действием двух доминантных генов мягкозерности эндосперма. Чтобы подтвердить универсальность эффекта этих генов мы изучили гибриды с двумя другими мягкозерными сорта-

Таблица 1. Мукомольные параметры и содержание клейковины и белка в зерне
Table 1. Milling parameters, gluten and protein content in grain

Сорта и гибриды / Cultivars and hybrids	Стеклоидность, % / Vitreousness, %	ДЧМ*, мкм / PS*, μm	Содержание клейковины, % / Gluten content, %	Содержание белка, % / Protein content, %
Голубка / Golubka	49,7 $\pm$ 2,9	9,9 $\pm$ 0,1	35,75 $\pm$ 3,17	18,64 $\pm$ 1,39
Лютесценс 62 Lutescens 62	51,0 $\pm$ 4,3	10,6 $\pm$ 0,5	37,02 $\pm$ 4,48	18,54 $\pm$ 1,83
F ₆₋₈ Голубка $\times$ 84/98 ^w / F ₆₋₈ Golubka $\times$ 84/98 ^w	28,7** $\pm$ 10,3	9,81 $\pm$ 0,8	35,43 $\pm$ 0,96	16,55 $\pm$ 2,15
Семья 1 F _{3,4} Лютесценс 62 $\times$ 84/98 ^w / Family 1 F _{3,4} Lutescens 62 $\times$ 84/98 ^w	63,5	12,3	34,5	17,0
Семья 2 F _{3,4} Лютесценс 62 $\times$ 84/98 ^w / Family 2 F _{3,4} Lutescens 62 $\times$ 84/98 ^w	55,0	11,8	39,5	19,4
Семья 3 F _{3,4} Лютесценс 62 $\times$ 84/98 ^w / Family 3 F _{3,4} Lutescens 62 $\times$ 84/98 ^w	73,5	17,9	33,5	17,7
Семья 4 F _{3,4} Лютесценс 62 $\times$ 84/98 ^w / Family 4 F _{3,4} Lutescens 62 $\times$ 84/98 ^w	49,0	10,0	36,75	17,5
SSL	43,8 $\pm$ 2,4	9,55* $\pm$ 2,4	30,25 $\pm$ 3,38	14,7 $\pm$ 1,24
84/98 ^w	50,25 $\pm$ 0,25	13,05 $\pm$ 1,45	48,30 $\pm$ 1,30	–

Примечание: *ДЧМ – диаметр частиц муки

** Достоверно при $P < 0,01$ по сравнению с обеими родительскими формами

Note: * PS – flour particle size

** Significant at $P < 0,01$, compared with both parent forms

Таблица 2. Физические свойства муки и теста у родительских сортов и супермягкозерных гибридов
Table 2. Physical properties of flour and dough in the parent cultivars and supersoft-grain hybrids

Сорта и гибриды / Cultivars and hybrids	Сила муки W (е.а.) / Flour strength W (u.a.)	Упругость P (мм) / Elasticity P (mm)	Растяжимость L (мм) / Extensibility L (mm)	Отношение P/L / P/L ratio
Голубка / Golubka	69,7 ± 1,15	41,7 ± 2,35	50,9 ± 4,90	0,8 ± 0,125
Лютеценс 62 / Lutescens 62	56,3 ± 17,80	51,6 ± 11,40	32,2 ± 3,85	1,6 ± 0,165
F ₆₋₈ Голубка × 84/98 ^w / F ₆₋₈ Golubka × 84/98 ^w	71,5	33,0	88,0	0,4
Семья 2 F _{3,4} Лютеценс 62 × 84/98 ^w / Family 2 F _{3,4} Lutescens 62 × 84/98 ^w	39,6	44,0	13,0	3,38
Семья 3 F _{3,4} Лютеценс 62 × 84/98 ^w / Family 3 F _{3,4} Lutescens 62 × 84/98 ^w	188,4	124,6	45,8	2,72
Семья 4 F _{3,4} Лютеценс 62 × 84/98 ^w / Family 4 F _{3,4} Lutescens 62 × 84/98 ^w	128,1	70,7	57,0	1,24
SSL	74,9 ± 9,9	62,6 ± 8,4	28,5 ± 5,35	2,3 ± 0,635

ми, 'Лютесценс 62' и 'Толубка', где первый из родителей является носителем гена *Ha* в хромосоме 5D, а второй – гена *Ha-Sp* в хромосоме 5A. В раннем потомстве гибридов среди семей $F_{3:4}$ Лютесценс 62 × 84/98^w происходило расщепление по этим генам, которое выражалось в различиях по мукомольным характеристикам (рис. 1, табл. 1). Родительские формы, содержащие по одному гену мягкозерности, не отличались друг от друга по стекловидности, а у сорта 'Лютесценс 62' диаметр частиц был на 4 мкм меньше, чем у линии 84/98^w. Такие показатели характерны для мягкозерных сортов *Triticum aestivum*. Среди потомства $F_{3:4}$ появлялись семьи с такими же, как у родителей, диаметром частиц муки (около 12,0 мкм) и стекловидностью (55–65%) (см. рис. 1, семьи 1 и 2). Эти семьи, вероятно, были носителями одного из двух генов мягко-

зерности. Появлялись также семьи с высокими мукомольными показателями, не характерными для родителей. Диаметр частиц у них был около 18 мкм, а стекловидность – более 70% (см. рис. 1, семья 3). Такие показатели характерны для носителей рецессивных аллелей генов мягкозерности, которые выщеплялись при дигенном наследовании признака в этом скрещивании. В потомстве гибридов также появлялись семьи, подобные семье 4, с пониженной стекловидностью и с малыми размерами частиц муки (10,0 мкм). Именно такие свойства демонстрировала линия SSL, полученная отбором на малый диаметр частиц муки и низкую стекловидность у растений в течение 10 поколений (рис. 2) (Simonov et al., 2017). Семья 4 стала родоначальницей линии, несущей два гена мягкозерности эндосперма, *Ha* и *Ha-Sp*.

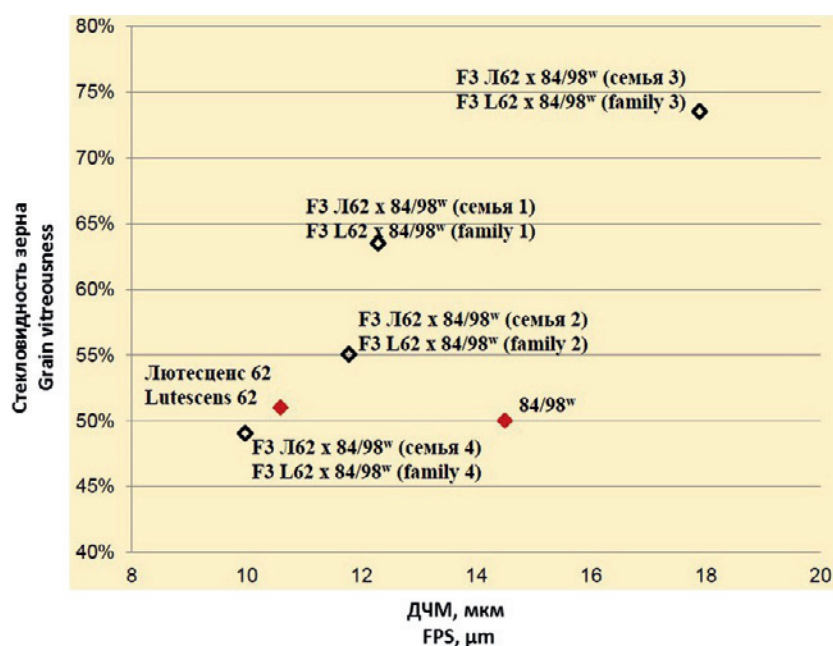


Рис. 1. Распределение семей $F_{3:4}$ от скрещивания Лютесценс 62 × 84/98^w по мукомольным параметрам – общей стекловидности зерна и размеру частиц муки (Л62 – 'Лютесценс 62')

Fig. 1. Distribution of the $F_{3:4}$ families from crossing Lutescens 62 × 84/98^w by milling parameters – total vitreousness of grain and flour particle size (L62 – 'Lutescens 62')

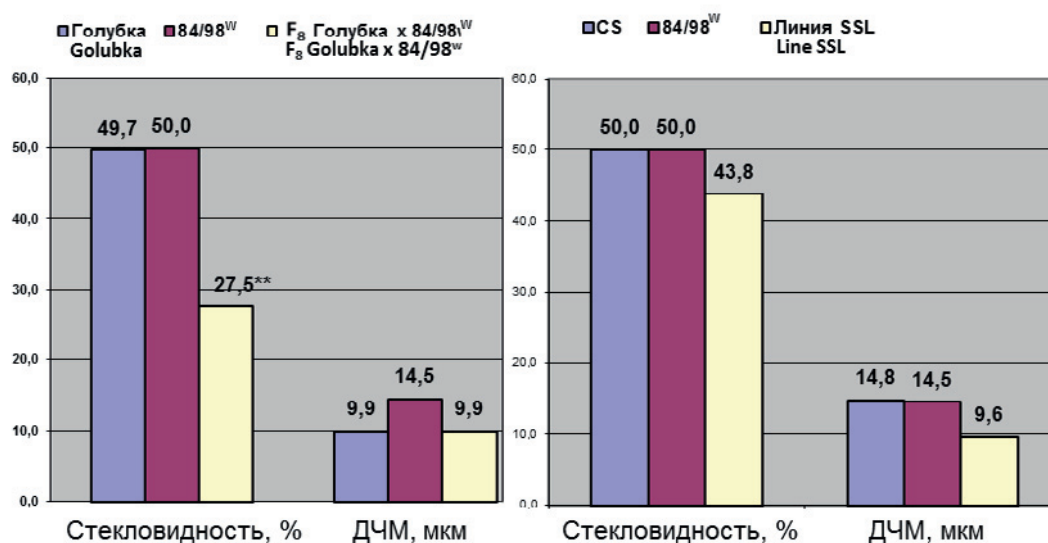


Рис. 2. Мукомольные показатели линий мягкой пшеницы – носителей двух генов мягкозерности *Ha* и *Ha-Sp*

Fig. 2. Milling parameters of bread wheat lines – carriers of the two genes for grain softness, *Ha* and *Ha-Sp*

В другой гибридной комбинации родительский сорт 'Голубка' имел малый размер частиц муки (см. рис. 2). Однако стекловидность зерна его была одинаковой с линией 84/98^w (см. табл. 1). После ряда последовательных отборов в поколениях генотипов с наименьшими показателями мукомольных характеристик была получена линия с необычно низкой стекловидностью (см. рис. 2). По величине стекловидности эта линия достоверно отличалась от родительских форм, при этом таких значений этого признака не было обнаружено у других изученных генотипов (сортов и гибридов). Таким образом, взаимодействие двух генов мягкозерности в разных генотипических средах также выражалось в образовании различных по стекловидности эндоспермов. Это, как нам кажется, связано с тем, что диаметр частиц муки в основном определяется генами мягкозерности, тогда как стекловидность – сложно контролируемый признак, в значительной мере подверженный влиянию внешней среды. Молекулярное картирование локуса (QTL) для твердозерности (описываемой диаметром частиц муки при размоле), как правило, выявляет главный локус (QTL) в хромосоме 5D в районе гена *Ha* (McIntosh et al., 2013). Хотя стекловидность в значительной степени коррелирует с твердозерностью, и QTL, контролирующие этот признак, картированы в сходном положении, для этого признака выявлены и другие главные локусы на других хромосомах пшеницы (Pshenichnikova et al., 2008).

Полученная ранее супермягкозерная линия SSL имела специфические физические свойства теста,

а именно низкую силу муки и упругость, которые делают ее пригодной для целенаправленного использования в кондитерских целях (Реѝа, 2002). Поэтому мы изучили эти свойства у всех упомянутых выше образцов. На рисунке 3 и в таблице 2 представлены средние значения физических свойств теста у линий с разным сочетанием генов мягкозерности эндосперма *Ha* и *Ha-Sp*, а также яровых родительских форм. Линия F₈ (Голубка × 84/98^w) показала сходную с линией SSL низкую силу муки, которая, в частности, требуется для кондитерских изделий (Реѝа, 2002). При этом эта линия имела более низкую упругость, но более высокую растяжимость. Это, вероятно, связано с тем, что реологические свойства определяются не только структурой эндосперма, но и аллельным составом запасных белков клейковины.

Наибольшее разнообразие по физическим свойствам муки и теста было обнаружено у гибридов третьего поколения Лютесценс 62 × 84/98^w (см. рис. 3). Семья 3 имела самые высокие показатели силы муки и упругости, 188,4 е.а. и 124,6 мм, соответственно. Это позволяет отнести линию к хлебопекарным пшеницам-филлерам (Fedin, 1988) и свидетельствует в пользу того, что линия утратила оба гена мягкозерности. Две другие семьи значительно отличались от нее по этим признакам. Все три линии имели довольно низкую растяжимость теста и сильно различались по сбалансированности теста. Скорее всего, они будут различаться и по смешительным характеристикам.

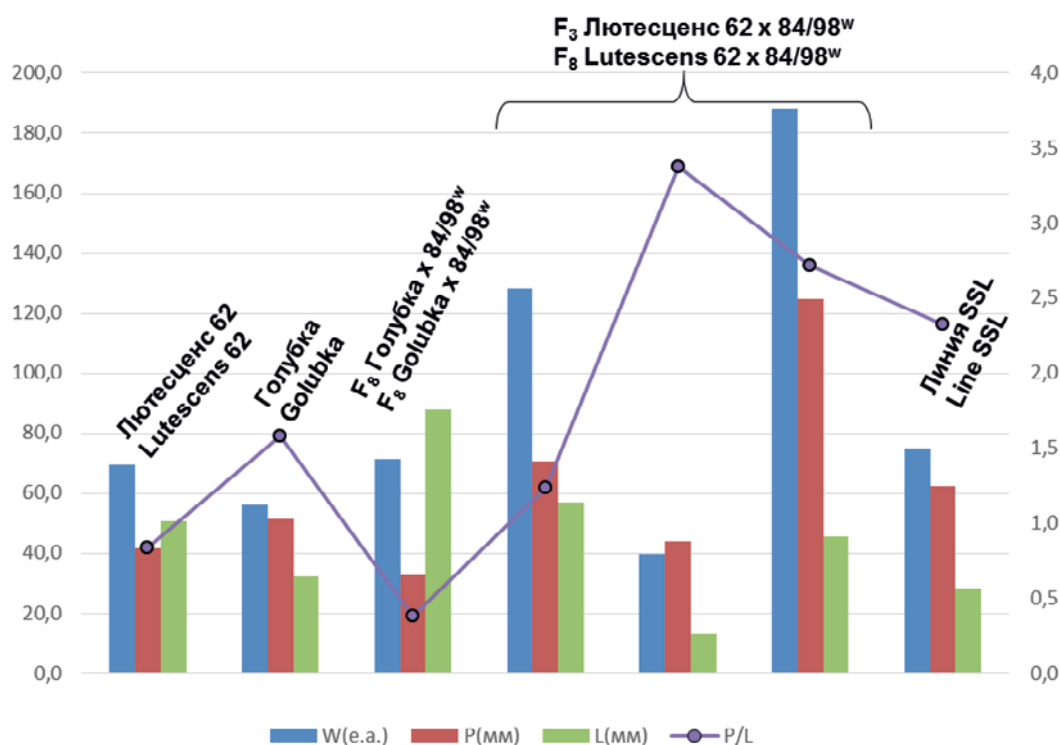


Рис. 3. Физические свойства муки и теста по альвеографу у генотипов с различным сочетанием генов мягкозерности эндосперма *Ha* и *Ha-Sp*.

W – сила муки в единицах альвеографа (е.а.); P – упругость и L – растяжимость теста в миллиметрах;
P/L – сбалансированность теста

Fig. 3. Physical properties of flour and dough (alveographic test) in genotypes with different combinations of genes for endosperm soft grain *Ha* and *Ha-Sp*.

W – flour strength in units of alveograph (e.a.); P – dough elasticity; L – dough extensibility in millimeters;
P/L – dough balance

Заключение

В результате нашей работы впервые получен набор супермягкозерных линий со специальными свойствами зерна и муки. Они могут быть востребованы для широкого спектра производственного назначения как в пищевых, так и в технических целях. Полученные линии нуждаются во всесторонней оценке специалистов-технологов пищевого производства. В настоящее время в России существенно расширился спектр изделий из муки в различных национальных кухнях. Для них часто требуется мука с особыми характеристиками, отличными от тех, которые предъявляются к хлебопекарной муке. Вариабельность по структуре эндосперма в комплексе с разнообразием по содержанию белка и клейковины и ее качеству у сортов пшеницы позволяет удовлетворять различные потребности производителей. Для производства различных кондитерских изделий и видов пиццы (Peña, 2002; Tehseen et al., 2014; Sharma et al., 2020; SuperFlour..., 2017) можно использовать непосредственно муку таких супермягкозерных линий или адаптировать для этого муку хлебопекарного назначения. Это позволит избежать внесения различных химических добавок, в частности, химических разрыхлителей и крахмала, в производственном процессе. В некоторых странах, например в Канаде, зерно с такими показателями представляет отдельный товарный класс (Canadian Grain..., 2015). В настоящее время известны нуклеотидные последовательности генов мягкозерности, к ним подобраны эффективные праймеры (Sharma et al., 2020). Это позволяет проводить целенаправленный отбор сортов с определенной структурой эндосперма и технологическим назначением зерна с помощью маркер-ориентированной селекции.

Исследование было поддержано бюджетным проектом № 0324-2019-0040-C-01. Полевой материал для анализа был получен при содействии ЦКП ИЦиГ СО РАН «Селекционно-генетическая лаборатория».

Авторы выражают искреннюю благодарность Н. М. Ковалёвой и А. К. Чистяковой за выполнение технологических анализов.

The study was supported by Budget Project No. 0324-2019-0040-C-01. Cultivation in the field was carried out courtesy of the Center for Collective Use "Breeding and Genetic Laboratory", IC&G SB RAS.

The authors express their sincere gratitude to N. M. Kovalova and A. K. Chistyakova for performing technological analyses.

References / Литература

Canadian Grain Commission. Official Grain Grading Guide. Wheat. 2015. Available from: <http://www.grainscanada.gc.ca/index-eng.htm> [accessed Nov. 10, 2020].

Giroux M.J., Morris C.F. Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline a and b. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1998;95(11):6262-6266. DOI: 10.1073/pnas.95.11.6262

Fedin M.A. (ed.). Methodology for state crop variety trials: technological assessment of cereal, groat and pulse crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur: tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kultur). Moscow:

State Commission for Crop Variety Trials; 1988. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / под ред. М.А. Федина. Москва: Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур; 1988).

GOST 10987-76. Inter-state standard. Grain. Methods for determination of vitreousness. In: *Grain. Methods of analysis: Collection of State Standards (Zerno. Metody analiza: Sbornik GOSTov)*. Moscow; 2001. [in Russian] (ГОСТ 10987-76. Зерно. Межгосударственный стандарт. Методы определения стекловидности. В кн.: *Сборник ГОСТов Зерно. Методы анализа: Сборник ГОСТов*. Москва; 2001). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-10987-76> [дата обращения: 10.09.2020].

GOST P 54478-2011. National Standard of the Russian Federation. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standartinform; 2012. [in Russian] (ГОСТ P 54478-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Москва: Стандартинформ; 2012). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54478-2011> [дата обращения: 10.09.2020].

Kozmina N.P. Grain science (Zernovedeniye.) Moscow: Zagotizdat; 1955. [in Russian] (Козьмина Н.П. Зерноведение. Москва: Заготиздат; 1955).

Lapochkina I.F., Yatchevskaya G.L. Pollen irradiation method in a distant wheat hybridization. *Annual Wheat Newsletter*. 1997;43:193-195.

McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Appels R., Xia X.S. Catalogue of gene symbols for wheat. 2013. Available from: <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/symbolClassList.jsp> [accessed Sept. 10, 2020].

Morris C.F. Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Molecular Biology*. 2002;48(5-6):633-647. DOI: 10.1023/A:1014837431178

Peña R.J. Wheat for bread and other foods. In: B.C Curtis, S. Rajaram, H.G. Macpherson (eds). *Bread Wheat – Improvement and Production. FAO Plant Production and Protection Series*. Rome; 2002. Available from: <http://www.fao.org/3/y4011e0w.htm#bm32> [accessed Sept. 17, 2020].

Pshenichnikova T.A., Ermakova M.F., Chistiakova A.K., Shchukina L.V., Berezovskaia E.V., Lochwasser U., Röder M., Börner A. Mapping of the quantitative trait loci (QTL) associated with grain quality characteristics of the bread wheat grown under different environmental conditions. *Russian Journal of Genetics*. 2008;44(1):74-84. DOI: 10.1134/S1022795408010109

Pshenichnikova T.A., Simonov A.V., Ermakova M.F., Chistyakova A.K., Shchukina L.V., Morozova E.V. The effects on grain endosperm structure of an introgression from *Aegilops speltoides* Tausch into chromosome 5A of bread wheat. *Euphytica*. 2010;175(3):315-322. DOI: 10.1007/s10681-010-0168-1

Simonov A.V., Chistyakova A.K., Morozova E.V., Shchukina L.V., Börner A., Pshenichnikova T.A. The development of a new bread wheat genotype carrying two loci for endosperm softness *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(3):341-346. [in Russian] (Симонов А.В., Чистякова А.К., Морозова Е.В., Щукина Л.В., Бёрнер А., Пшеничникова Т.А. Создание нового для мягкой пшеницы генотипа – носителя двух локу-

сов мягкозерности эндосперма. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(3):341-346. DOI: 10.18699/VJ17.251

Sharma Y., Sheikh I., Sharma A., Yadav A.N., Kumar K., Chhuneja P. et al. Transfer of grain softness from 5U-5A wheat-*Aegilops triuncialis* substitution line to bread wheat through induced homeologous pairing. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 2020;29(3):407-417. DOI: 10.1007/s13562-020-00554-z

Shibaev P.N., Gusev I.S., Samsonov M.M. Vitreousness and structural-mechanical properties of wheat grain (Steklovидnost i strukturno-mekhanicheskiye svoystva zerna

pshenitsy). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1974;3:22-26. [in Russian] (Шибаев П.Н., Гусев И.С., Самсонов М.М. Стекловидность и структурно-механические свойства зерна пшеницы. *Селекция и семеноводство*. 1974;3:22-26).

SuperFlour (SuperMuka). 2017. [in Russian] (СуперМука. 2017). URL: <http://super-muka.ru/> [accessed Nov. 17, 2020].

Tehseen S., Anjum F.M., Pasha I., Khan M.I., Saeed F. Suitability of spring wheat varieties for the production of best quality pizza. *Journal of Food Science and Technology*. 2014;51(8):1517-1524. DOI: 10.1007/s13197-012-0666-3

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Симонов А.В., Пшеничникова Т.А. Технологические свойства зерна и муки у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) – носителей локусов *Ha* и *Ha-Sp*, определяющих структуру эндосперма. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):91-98. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-91-98

Simonov A.V., Pshenichnikova T.A. Technological properties of grain and flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes carrying two loci that determine the endosperm structure. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):91-98. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-91-98

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-91-98>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Simonov A.V. <https://orcid.org/0000-0001-6708-3822>

Pshenichnikova T.A. <https://orcid.org/0000-0001-5639-916X>

Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютенина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109



УДК 633.111.1

Поступление/Received: 12.06.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

М. У. УТЕБАЕВ^{1, 2*}, Н. А. БОМЕ¹, Е. С. ЗЕМЦОВА¹,
О. О. КРАДЕЦКАЯ², И. В. ЧИЛИМОВА²

¹ Тюменский государственный университет,
625043 Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6
* phytochem@yandex.ru

² Научно-производственный центр зернового хозяйства
им. А.И. Бараева,
021601 Казахстан, Акмолинская обл., п. Шортанды-1,
ул. Бараева, 15

Diversity of high-molecular-weight glutenin subunits and evaluation of genetic similarities in spring bread wheats from different breeding centers

M. U. UTEBAYEV^{1, 2*}, N. A. BOME¹, E. C. ZEMTSOVA¹,
O. O. KRADETSKAYA², I. V. CHILIMOVA²

¹ University of Tyumen,
6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia
* phytochem@yandex.ru

² A.I. Barayev Science and Production Center
of Grain Farming,
15 Barayev St., Shortandy-1, Akmol Region 021601,
Kazakhstan

Актуальность. Исследования полиморфизма глютенина помогут выделить наиболее ценные генотипы для дальнейших скрещиваний и получения новых перспективных селекционных линий пшеницы с повышенными показателями качества. Цель исследования – идентифицировать субъединицы глютенина и определить аллельные состояния локусов *Glu-1* в образцах яровой мягкой пшеницы.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись 54 российских и 76 казахстанских сортов и линий яровой мягкой пшеницы из различных селекционных учреждений. Электрофорез глютенинов проводили в системе концентрирующего и разделяющего полиакриламидного геля по методике Лэммли. Идентификация субъединиц глютенина – по каталогу Payne и Lawrence.

Результаты и обсуждение. На основе изучения коллекции пшеницы, по локусу *Glu-A1* идентифицировано два аллеля: **b** и **c**, с различными частотами встречаемости. Установлено, что встречаемость аллеля *Glu-A1b* выше *Glu-A1c* во всех образцах пшеницы. Идентифицировано шесть аллелей: **a**, **b**, **c**, **d**, **f** и **g** локуса *Glu-B1*. Наибольшая встречаемость зафиксирована для аллеля **c** (7+9). Локус *Glu-D1* представлен двумя идентифицированными аллелями: **a** и **d**, с разными частотами встречаемости. В пшенице из представленных селекционных учреждений чаще присутствовали комбинации субъединиц глютенина: 2*, 7+9, 5+10 (9 баллов); 2*, 7+9, 2+12 (7 баллов) и Null, 7, 5+10 (6 баллов). На основе статистических расчетов достоверно отличалась челябинская пшеница от тюменской (локусы *Glu-A1* и *Glu-B1*) и от восточно-казахстанской (локусы *Glu-A1* и *Glu-D1*).

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., SDS-электрофорез, качество зерна, локусы *Glu-1*, селекция.

Background. Glutenin is a storage protein in wheat seeds, important for the quality of bread prepared from wheat. Studying glutenin polymorphism can help to identify valuable genotypes and promising new breeding lines for further crossings. The aim of this study was to identify subunits of glutenin and determine alleles at the *Glu-1* loci in the spring bread wheat germplasm collection.

Materials and methods. A panel of 54 Russian and 76 Kazakh bread wheat germplasm accessions from various breeding centers was selected. Gliadin electrophoresis was carried out in a concentrating and separating polyacrylamide gel system following the Laemmli method. Glutenin subunits were identified according to the catalogue produced by Payne and Lawrence.

Results and discussion. At the *Glu-A1* locus, two alleles, **b** and **c**, were identified, with different frequencies of occurrence among studied wheat accessions. The *Glu-A1b* allele occurred more frequently than *Glu-A1c* in the studied germplasm from all breeding centers. Meanwhile, six alleles, **a**, **b**, **c**, **d**, **f** and **g**, were found at the *Glu-B1* locus. The most frequently occurring *Glu-B1c* allele encoded two subunits (7+9). The third homologous gene, *Glu-D1*, had only two identified alleles, **a** and **d**, with various frequencies among the studied wheat accessions. Wheat germplasm of various origin had specific combinations of glutenin subunits, providing different scores of grain quality. For example, the combination of glutenin subunits, 2*, 7+9 and 5+10, provided the highest score (= 9) of grain quality. A single change in the *Glu-1* subunit composition, 2*, 7+9 and 2+12, caused a reduction in grain quality (= 7 score); and the combination of Null, 7 and 5+10 was accompanied by the lowest (= 6) grain quality. The analysis showed that two loci, *Glu-A1* and *Glu-B1*, induced significant differences between wheat accessions originated from Tyumen and Chelyabinsk, while the accessions from Chelyabinsk and East Kazakhstan differed significantly at the *Glu-A1* and *Glu-D1* loci.

Key words: *Triticum aestivum* L., SDS electrophoresis, grain quality, *Glu-1* loci, breeding.

Введение

Значительную долю пищевого рациона большинства людей занимают мучные и хлебобулочные изделия, полученные при переработке зерна пшеницы. Качество

зерна пшеницы во многом зависит от количества и качества клейковины – гидратированного белкового геля. Клейковина, в свою очередь, состоит из двух групп белков: глиадинов и глютенинов, различающихся по растворимости в спирте и щелочных растворах. Глиадины пред-

ставляют собой мономерные белки, которые по физико-химическим свойствам можно разделить на α -, β -, γ - и ω -глиадины (Patey, Waldron, 1976). Глютенины – это высокоагрегированные белки с огромной молекулярной массой, ассоциированные и соединенные между собой межмолекулярными дисульфидными мостиками. Известно, что глютеины пшеницы в зависимости от молекулярной массы делятся на две группы субъединиц: высокомолекулярные и низкомолекулярные. Генетический контроль биосинтеза высокомолекулярных субъединиц глютеина (ВМСГ) осуществляется локусами *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*, локализованными на длинных плечах хромосом 1AL, 1BL и 1DL (Payne, 1987). При этом локусы *Glu-B1* и *Glu-D1* кодируют два типа ВМСГ: α - и γ -тип, отличающиеся по электрофоретической подвижности, тогда как локус *Glu-A1*, контролирует синтез ВМСГ только α -типа (Rogers et al., 1991).

Установлено, что ВМСГ имеют большое значение в формировании хлебопекарных свойств зерна пшеницы (Branlard, Dardevet, 1985; Chen et al., 2019). Так, например, компоненты 1Dx5 и 1Dy10 положительно влияют на упругость и вязкость (Payne et al., 1987; Hernández-Estrada et al., 2017), а 1Bx7 и 1By9 – на прочность теста (Chen et al., 2019). Тогда как наличие пары ВМСГ 2+12 локуса *Glu-D1* снижает качество теста и соответственно хлеба (Branlard, Dardevet, 1985). Субъединица 1Bx7, кодируемая локусом *Glu-B1*, широко распространена у многих сортов пшеницы (Lookhart et al., 1993; Morgunov et al., 1990) и часто ассоциирована с аллельными компонентами 1By8 или 1By9, что раньше не давало возможности определить влияние отдельного компонента 1Bx7 на качество зерна. Тем не менее было показано, что компонент 1Bx7 оказывает положительное влияние на упругость и растяжимость теста (Butow et al., 2003).

Стоит отметить, что не всегда наличие «плохих» ВМСГ снижает хлебопекарное качество пшеницы. Так, например, состав ВМСГ у сорта 'Саратовская 29': 2*, 7+9, 2+12, при этом данный сорт является одним из лучших по качеству зерна и хлебопекарной оценке (Obukhova, Shumny, 2016). К тому же большинство сортов пшеницы омской, саратовской (Morgunov et al., 1990) и шортландинской (Utebayev et al., 2019) селекции содержат преимущественно ВМСГ 1Dx2+1Dy12, не теряя при этом хлебопекарного качества. Интересно, что первоначально в сортах пшеницы шортландинской селекции частота встречаемости пары субъединиц 1Dx5+1Dy10 составляла более 60% (Morgunov et al., 1990), затем произошел сдвиг в сторону отбора генотипов с субъединицами 1Dx2+1Dy12. С другой стороны, установлено, что пара субъединиц 1Dx2+1Dy12 чаще встречается в яровых формах пшеницы и сопряжена с устойчивостью к засухе и жаре (Dobrotvorskaya, Martynov, 2011), что вполне согласуется с климатическими условиями Омска, Саратова и Шортланды.

Для идентификации сортов, сохранения их чистоты используют различные методы: полевую апробацию, лабораторный анализ и грунт-контроль. Лабораторные анализы, основанные на ДНК-диагностике, представляют собой современные методы изучения растений (Shavrukov, 2016; Zaitseva et al., 2017; Ravel et al., 2020). Тем не менее применение метода SDS-электрофореза для изучения глютеина пшеницы не потеряло своей актуальности (Khalid, Nameed, 2019; Goel et al., 2018). Спектры глютеина пшеницы из различных стран мира указывают на особенности распространения, разнообразие комбинаций и частот аллелей локусов *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1* (Payne et al., 1987; Gianibelli et al., 2002; Khalid, Nameed,

2019; Goel et al., 2018). Результаты изучения полиморфизма глютеинов помогут выделить наиболее ценные генотипы для дальнейших скрещиваний и получения новых селекционных линий пшеницы с улучшенными показателями качества зерна.

Цель исследования – идентифицировать ВМСГ и определить аллельные состояния локусов *Glu-1* в образцах яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись образцы яровой мягкой пшеницы российской и казахстанской селекции: 31 сорт пшеницы тюменской селекции: ГАУ Северного Зауралья (ГАУСЗ) и НИИСХ Северного Зауралья (НИИСХСЗ), 23 сорта Челябинского НИИСХ (ЧелНИИСХ), 14 сортов Актюбинской сельскохозяйственной опытной станции (АСХОС), 40 образцов пшеницы Карагандинской СХОС им. Ф. Ф. Христенко (КарСХОС) и 22 образца пшеницы Восточно-Казахстанского НИИСХ (ВКНИИСХ).

Электрофорез белков

Электрофорез глютеинов проводили в системе концентрирующего и разделяющего полиакриламидного геля по методике Лэммли (Laemmli, 1970).

Глютеин экстрагировали из разрезанной скальпелем на несколько частей отдельной зерновки путем добавления 250 мкл экстрагирующего буфера (Galili, Feldman, 1983) с последующим инкубированием в течение 2 ч в стеклянной пробирке $V = 7,0$ мл, при комнатной температуре, с периодическим перемешиванием. Затем поместили в кипящую водяную баню на 2 мин. После охлаждения, 7 мкл белкового экстракта фракционировали в 10-процентном полиакриламидном геле SDS-электрофорезом, в трис-глициновом буфере $pH = 8,3$. Для электрофореза использовали вертикальную камеру Niju Kalu (Эстония), позволяющую получать пластины геля размером $120 \times 70 \times 1$ мм. Электрофорез проводили при 200 В в течение 1,5 ч. Фиксацию и окрашивание осуществляли в 10-процентной трихлоруксусной кислоте с добавлением 0,05-процентного спиртового раствора Кумасси R-250 (Sigma-Aldrich, США). Идентификацию субъединиц глютеина проводили по каталогу ВМСГ (Payne, Lawrence, 1983). В качестве стандарта использовался сорт пшеницы 'Chinese Spring'. Каждой субъединице или паре субъединиц глютеина присваивался балл качества (табл. 1).

Статистический анализ

Расчет внутрипопуляционного разнообразия ($\mu \pm S_{\mu}$), критерия идентичности (I) проводили по формулам Л. А. Животовского (Zhivotovsky, 1979, 1991). Степень генетического разнообразия (H) рассчитывали по формуле, описанной М. Nei (1973):

$$H = 1 - \sum p_i^2$$

где p_i – частота аллелей.

Результаты исследования

Идентифицированные ВМСГ, аллели локусов *Glu-1* и оценка влияния аллелей на качество хлеба в сортах яровой мягкой пшеницы российской и казахстанской селекции представлены в таблице 2.

Таблица 1. Оценки субъединиц глютеина по степени их влияния на хлебопекарные характеристики (по O. M. Lukow et al., 1989)**Table 1.** Estimates of glutenin subunits according to the degree of their effect on bread-making characteristics (from O. M. Lukow et al., 1989)

Оценка / Score	Глютеинирующий локус (компоненты/аллель) / Glutenin-coding loci (components / allele)		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D</i>
4	–		5+10/ <i>d</i>
3	1/ <i>a</i>	17+18/ <i>i</i>	–
3	2*/ <i>b</i>	7+8/ <i>b</i>	–
3	–	13+16/ <i>f</i>	–
2	–	7+9/ <i>c</i>	2+12/ <i>a</i>
2	–	–	3+12/ <i>b</i>
1	Null/ <i>c</i>	7/ <i>a</i>	4+12/ <i>c</i>
1	–	6+8/ <i>d</i>	–
1	–	20/ <i>e</i>	–

Таблица 2. Идентифицированные ВМСГ и аллели локусов *Glu-1* яровой мягкой пшеницы российской и казахстанской селекции**Table 2.** The identified HMW-GS and alleles at the *Glu-1* loci in spring bread wheat of Russian and Kazakhstan origin

Глютеининкодирующие локусы <i>Glu-1</i> / Glutenin-coding <i>Glu-1</i> loci						Оценка / Score	Сорта и селекционные линии / Cultivars and breeding lines
<i>A1</i>		<i>B1</i>		<i>D1</i>			
ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele		
НИИСХ Северного Зауралья и ГАУ Северного Зауралья							
<i>Мономорфные</i>							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	9	Авиада, Латона, Лютесценс 585, Речка, СКЭНТ-1, Сурента-7, Сурента-3, Сурента-6, Тюмонец 2, Тюменская 25, Тюменская 27, Тюменская 29, Тюменская 31, Тюменская 32, Тюменская 33
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	7	Ильинская, Лютесценс 70, Сурента-5, Тюменская 30, Тюменская Юбилейная
2*	<i>b</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	8	Аделина, СКЭНТ-3
Null	<i>c</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	6	Икар
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	5	Златозара, Линия ТГУ-1, Туринская
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	7	Серебряна
Null	<i>c</i>	7+8	<i>b</i>	2+12	<i>a</i>	8	Рикс
<i>Полиморфные</i>							
2*	<i>b</i>	7+9/7	<i>c+a</i>	5+10	<i>d</i>	8,5	Тюменочка
2*/Null	<i>b/c</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	8	Сурента-4
2*/Null	<i>b/c</i>	7+8/7+9/7	<i>b+c+a</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7	Тюменская 80

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Глютенинкодирующие локусы <i>Glu-1</i> / Glutenin-coding <i>Glu-1</i> loci						Оценка / Score	Сорта и селекционные линии / Cultivars and breeding lines
<i>A1</i>		<i>B1</i>		<i>D1</i>			
ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele		
Челябинский НИИСХ							
Мономорфные							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	9	Челяба 75, Челяба ранняя.
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	7	Ильменская, Кукушка 12-6, Эритроспермум 24741
2*	<i>b</i>	7+8	<i>b</i>	5+10	<i>d</i>	10	Челяба степная
2*	<i>b</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	8	Дуэт, Мильтурум 12013
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	5	Чебаркульская
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	7	Силач
Null	<i>c</i>	7+8	<i>b</i>	5+10	<i>d</i>	8	Квинта, Уральская 52
Null	<i>c</i>	6+8	<i>d</i>	2+12	<i>a</i>	4	Челяба
Null	<i>c</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	6	Уральская кукушка, Челяба 2, Кукушка 14-6, Весна
Полиморфные							
2*/Null	<i>a+c</i>	7+8	<i>b</i>	5+10	<i>d</i>	9	Лютесценс 23490
2*/Null	<i>a+c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	6	Уралочка
Null	<i>c</i>	7/7+8	<i>a+b</i>	5+10	<i>d</i>	7	Эритроспермум 23390
Null	<i>c</i>	7	<i>a</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	5	Кукушка
2*/Null	<i>a+c</i>	7/7+8/7+9	<i>a+b+c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7	Челябинская 17
Актюбинский СХОС							
Мономорфные							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	9	Степная 253, 381 МС, 424 МС
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	7	Актобе 33
2*	<i>b</i>	6+8	<i>d</i>	2+12	<i>a</i>	7	Актобе 39
2*	<i>b</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	8	Актобе 32
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	5	Актобе 10
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	7	Актобе 130
Полиморфные							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	8	Степная 1
2*/Null	<i>a+c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7	Актюбинка
2*	<i>b</i>	13+19	<i>g</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	?*	Степная 245
2*	<i>b</i>	13+16	<i>f</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	9	Актобе 42
2*/Null	<i>a+c</i>	7+8/7+9	<i>b+c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7,5	Актобе 14, Актобе 34

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Глютенинкодирующие локусы <i>Glu-1</i> / Glutenin-coding <i>Glu-1</i> loci						Оценка / Score	Сорта и селекционные линии / Cultivars and breeding lines
<i>A1</i>		<i>B1</i>		<i>D1</i>			
ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele		
Карагандинский СХОС им. Ф. Ф. Христенко							
Мономорфные							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	9	Лютесценс 932, Лютесценс 1052, Карагандинская 93, Лютесценс 1021, Лютесценс 1022, Лютесценс 1153, Лютесценс 1614, Лютесценс 1545, Лютесценс 2028
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	7	Карагандинская 2, Лютесценс 944, Карагандинская 21, Лютесценс 1194, Лютесценс 1221, Лютесценс 1235, Лютесценс 1166, Лютесценс 1272, Лютесценс 1519, Лютесценс 1764
Null	<i>c</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	6	Карагандинская 70, Лютесценс 720, Лютесценс 1136, Лютесценс 1226,
Null	<i>c</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	6	Лютесценс 1228, Лютесценс 1558, Лютесценс 1569, Сары-Арка, Лютесценс 1669, Карагандинская 30, Карагандинская 31, Лютесценс 2102
Полиморфные							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	8	Лютесценс 1245
2*	<i>b</i>	7+9/7	<i>c+a</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7,5	Лютесценс 1229
2*/Null	<i>a+c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7	Лютесценс 1098, Лютесценс 1192, Лютесценс 1212, Лютесценс 1242, Лютесценс 1541
2*/Null	<i>a+c</i>	7+8/7+9	<i>b+c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7,5	Лютесценс 270
2*/Null	<i>a+c</i>	7+9/7	<i>c+a</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	6,5	Лютесценс 1220

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Глютенинкодирующие локусы <i>Glu-1</i> / Glutenin-coding <i>Glu-1</i> loci						Оценка / Score	Сорта и селекционные линии / Cultivars and breeding lines
<i>A1</i>		<i>B1</i>		<i>D1</i>			
ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele	ВМСГ / HMW-GS	Аллель / Allele		
Восточно-Казахстанский НИИСХ							
Мономорфные							
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	9	Лязат
2*	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	2+12	<i>a</i>	7	ГВК-2077-11, ГВК-2097/14, ГВК-3632, ГВК-2036-15, ГВК-2033/7, ГВК-2055-1, ГВК-3488, ГВК-1369-2, ГВК-1596/5, ГВК-1672/8, ГВК-1678/12, ГВК-1719/1, ГВК-1857-9, ГВК-1860-8, Лада
Null	<i>c</i>	7	<i>a</i>	5+10	<i>d</i>	6	Зыряновка
Null	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>	7	Заульбинка
Null	<i>c</i>	13+16	<i>f</i>	5+10	<i>d</i>	8	ГВК - 2127
Полиморфные							
2*/Null	<i>a+c</i>	7+9	<i>c</i>	2+12/5+10	<i>a+d</i>	7	ГВК-1337/10, ГВК-1596/6
2*/Null	<i>a+c</i>	7+9/7	<i>c+a</i>	5+10	<i>d</i>	7,5	ГВК-2161

* – Оценка неизвестна по причине отсутствия данных о влиянии пары ВМСГ 1Вх13 и 1Ву19 на хлебопекарное качество

* – An unknown score due to the absence of data concerning the effect of the HMW-GS pair 1Bx13 and 1By19 on bread-making quality

ВМСГ тюменской пшеницы.

По результатам электрофоретического анализа сортов пшеницы тюменской селекции выявлено 2 аллеля в локусах *Glu-A1* (**b**, **c**) и *Glu-D1* (**a**, **d**) и 3 аллеля в локусе *Glu-B1* (**a**, **b** и **c**), что свидетельствует о дифференциации сортов по качеству клейковины.

Установлена доля мономорфных сортов (~90,3%), для которых характерны 7 типов комбинаций ВМСГ, где наиболее часто встречается: 2*, 7+9, 5+10 (у 15 из 31 сорта ~48,4%).

Доля полиморфных образцов пшеницы составила 21,6% (3 из 31 сорта). Полиморфные сорта представляли собой смесь зерновок, электрофореграммы которых различались по аллелям одного или нескольких глютеинирующих локусов.

Полиморфизм локуса *Glu-A1* выражен в виде комбинаций компонентов: 2*/Null в 2 сортах: 'Сурэнта 4' и 'Тюменская 80'. Мономорфными по компонентам 2* и Null оказались 23 и 6 сортов (74,1 и 19,3% соответственно). На основе статистических расчетов частота аллелей **b** (2*) и **c** (Null) локуса *Glu-A1* составляла 77,4 и 22,6% соответственно (табл. 3).

Полиморфизм локуса *Glu-B1* представлен двумя типами комбинаций компонентов глютеина в сортах: 'Тюменочка' – 7/7+9 (аллели **a+c**) и 'Тюменская 80' – 7/7+9/7+8 (аллели **a+c+b**). Аллель **c**, кодирующий синтез пары компонентов 7+9, встречался в большинстве случаев и имел максимальную частоту распространения 83,2% (см. табл. 2). Полиморфизм локуса *Glu-D1* обнаружен в одном

образце – 'Тюменская 80' по аллелям **d+a** (компоненты 5+10/2+12). В целом встречаемость аллелей *Glu-D1a* (субъединицы 2+12) и *Glu-D1d* (субъединица 5+10) составила 30,6 и 69,4% соответственно (см. табл. 3).

На основе шкалы влияния субъединиц глютеина на хлебопекарное качество были выставлены оценки. Оказалось, что 16 из 31 сорта (~51,6%) оцениваются в 9 баллов. При оценке влияния ВМСГ на хлебопекарное качество в полиморфном сорте балл выставлялся для каждой субъединицы и делился на количество идентифицированных субъединиц этого локуса. Так, например, в сорте 'Тюменочка', идентифицированы субъединицы: 2* (3 балла), 7+9/7 ((2+1)/2 = 1,5 балла), 5+10 (4 балла). Общий балл влияния субъединиц глютеина на хлебопекарное качество в сорте 'Тюменочка' составляет: 3+1,5+4 = 8,5 баллов.

ВМСГ челябинской пшеницы.

По результатам анализа 23 сортов яровой мягкой пшеницы челябинской селекции (см. табл. 2) видно, что сорта имеют примерно такой же состав глютеинов, как и тюменская пшеница, за исключением сорта 'Челяба', у которого присутствует пара субъединиц 6+8, контролируемых аллелем *Glu-B1d*. Доля сортов пшеницы челябинской селекции, полиморфных по глютеинам, оказалась практически равной тюменским – 21,7% (5 из 23 сортов). Выявлено 9 типов ассоциаций ВМСГ для мономорфных сортов, среди которых наиболее часто встречались 2 типа: 2*, 7+9, 2+12 (4 сорта) и Null, 7, 5+10 (4 сорта). Максимальные 10 баллов получил только один сорт – 'Челяба

Таблица 3. Частота (%) ВМСГ и аллелей локусов *Glu-1* в образцах пшеницы, созданных в различных селекционных учреждениях**Table 3. Occurrence frequency (%) of HMW-GS and alleles at the *Glu-1* loci in wheats from different breeding centers**

Локус Loci	Аллель Alleles	ВМСГ HMW-GS	1	2	3	4	5
<i>Glu-A1</i>	<i>b</i>	2*	77,4	45,7	75,0	61,2	79,5
	<i>c</i>	Null	22,6	54,3	25,0	38,8	20,5
<i>Glu-B1</i>	<i>a</i>	7	12,3	31,7	7,1	10,0	6,8
	<i>b</i>	7+8	4,2	20,9	7,1	1,3	
	<i>c</i>	7+9	83,2	40,4	64,3	88,8	88,6
	<i>d</i>	6+8		6,5	7,1		
	<i>f</i>	13+16			7,1		4,5
	<i>g</i>	13+19			7,1		
<i>Glu-D1</i>	<i>a</i>	2+12	30,6	34,8	42,9	36,3	72,7
	<i>d</i>	5+10	69,4	65,2	57,1	63,8	27,3

Примечание: 1 – НИИСХСЗ и ГАУСЗ; 2 – ЧелНИИСХ; 3 – АСХОС; 4 – КарСХОС; 5 – ВКНИИСХ

Note: 1 – Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Urals and the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals; 2 – Chelyabinsk Research Institute of Agriculture; 3 – Aktobe Agricultural Experiment Station; 4 – Karaganda Agricultural Experiment Station; 5 – East Kazakhstan Research Institute of Agriculture

степная', в котором удачно сочетались субъединицы глютеина, оцениваемые высокими баллами. Идентифицировано по 2 аллеля для локусов *Glu-A1* (*b*, *c*), *Glu-D1* (*a*, *d*) и 4 аллеля локуса *Glu-B1* (*a*, *b*, *c* и *d*). Встречаемость аллелей локуса *Glu-A1* примерно на одинаковом уровне, но с преобладанием аллеля *c* (Null) – 54,3% (см. табл. 3). Разнообразие аллелей локуса *Glu-B1* в челябинской пшенице оказалась чуть выше ввиду присутствия аллеля *d*. Также отметим, что в челябинской пшенице соотношение частот характерных аллелей между собой более равномерное, чем в тюменской пшенице. Полиморфизм локуса *Glu-D1* обнаружен в двух сортах: 'Кукушка' и 'Челябинская 17' (см. табл. 2). Частота встречаемости аллеля *Glu-D1d* оказалась, как и в тюменской пшенице, выше, чем частота *Glu-D1a*, и составила 65,2% (см. табл. 3).

ВМСГ актюбинской пшеницы.

Как и в предыдущих группах сортов, в локусах *Glu-A1* и *Glu-D1* идентифицировано по два аллеля – *b*, *c* и *a*, *d* соответственно. Интерес представляет локус *Glu-B1*, для которого обнаружены довольно редкие аллели: *f* и *g*, контролирующие синтез пар глютеинов: 13+16 и 13+19 соответственно (см. табл. 3). В локусе *Glu-D1*, как в тюменских и челябинских сортах, преобладает аллель *d* с частотой 57,14%. Полиморфизм в образцах составил 42,8%. Максимальную оценку по шкале влияния на хлебопекарные качества получили сорт 'Степная 253' и две линии: 381 МС и 424 МС за счет такого же состава ВМСГ (2*, 7+9, 5+10), что и сорта пшеницы из Тюмени и Челябинска.

ВМСГ карагандинской пшеницы.

По результатам электрофореза карагандинской пшеницы 9 из 40 образцов (22,5%) оказались полиморфными по глютеинам. Наиболее часто встречающаяся комбинация для полиморфных образцов имеет вид: Null/2*,

7+9, 2+12/5+10 (у 5 из 40 образцов). Для мономорфных образцов пшеницы характерными оказались три комбинации ВМСГ: 2*, 7+9, 5+10 – 22,5%; 2*, 7+9, 2+12 – 25% и Null, 7, 5+10 – 30%.

В локусе *Glu-A1* идентифицированы два аллеля: *b* и *c* с частотой 61,2 и 38,8% соответственно (см. табл. 3). Полиморфизм локуса *Glu-A1* зафиксирован для 7 из 40 образцов – 17,5%. В локусе *Glu-B1* идентифицировано три аллеля с частотами: *a* (10,0%), *b* (1,3%), *c* (88,8%). Эти же аллели идентифицированы в карагандинской и тюменской пшенице. Комбинации ВМСГ, контролируемые локусом *Glu-B1*, чаще представлены в виде: 7+9/7 и 7+9/7+8. Аллельный состав локуса *Glu-D1* такой же, как и в предыдущих группах. Идентифицировано всего два аллеля: *a* с частотой 36,3% и *d* – 63,8% (см. табл. 3). При оценке вклада ВМСГ в хлебопекарное качество оказалось, что наиболее распространенная комбинация, выявленная у 30% образцов, оценивалась всего в 6 баллов (см. табл. 2), тогда как максимальные 9 баллов зафиксированы только для 9 образцов (22,5%).

ВМСГ восточно-казахстанской пшеницы.

В таблице 2 представлены результаты идентификации субъединиц глютеина восточно-казахстанской пшеницы. Полиморфизм отмечен у трех образцов пшеницы, что составило 13,6%. Состав ВМСГ для преобладающей части (68,1%) образцов пшеницы имеет вид: 2*, 7+9, 2+12, оцениваемый в 7 баллов. Высокая оценка в 9 баллов зафиксирована для сорта 'Лязат' (2*, 7+9, 5+10). В локусах *Glu-A1* и *Glu-D1* идентифицировано по два аллеля: *b*, *c* и *a*, *d* соответственно (см. табл. 3). При этом отметим, что частота встречаемости аллеля *Glu-D1a* (ВМСГ 2+12) оказалась выше, чем в пшенице других регионов, что, по всей вероятности, связано особенностями селекционного процесса. В локусе *Glu-B1* идентифицировано три аллеля со следующими частотами встречаемости: *a* (6,8%),

c (88,6%) и *f* (4,5%), которые контролируют синтез субъединиц: 1Вх7, 1Вх7+1Ву9 и 1Вх13+1Ву16 (см. табл. 3). Интерес представляет аллель *Glu-B1f* (13+16), который был идентифицирован только в двух образцах пшеницы: 'Актобе 42' (АСХОС) и ГВК-2127 (ВКНИИСХ). Данный аллель оценивается довольно высоким баллом по шкале Пейна по сравнению с распространенным *Glu-B1c*, поэтому необходимо обратить внимание на данные образцы при селекции на хлебопекарное качество.

Статистический анализ.

На основе частот встречаемости рассчитаны следующие биометрические показатели: критерий идентичности (*I*), внутрипопуляционное (μ) и генетическое (*H*) разнообразие (табл. 4, 5).

Как видно, показатель μ для локусов глютенина *A1* и *D1* практически на одинаковом уровне для всех селекционных центров (см. табл. 4). В локусе *Glu-B1* наблюдаются некоторые различия: например, высокий показате-

Таблица 4. Биометрические показатели глютенинкодирующих локусов яровой мягкой пшеницы из различных селекционных учреждений

Table 4. Biometric indicators of glutenin-coding loci in spring bread wheat from different breeding centers

Селекционный центр / Breeding center	Глютенинкодирующие локусы (<i>Glu-1</i>) / Glutenin-coding loci (<i>Glu-1</i>)			Среднее / Mean
	<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>	
Внутрипопуляционное разнообразие ($\mu \pm S_{\mu}$) / Intra-population diversity ($\mu \pm S_{\mu}$)				
НИИСХСЗ и ГАУСЗ	1,84 ± 0,09	2,15 ± 0,24	1,92 ± 0,07	1,97 ± 0,13
ЧелНИИСХ	1,99 ± 0,29	3,65 ± 0,23	1,95 ± 0,06	2,53 ± 0,19
АСХОС	1,87 ± 0,13	4,57 ± 0,68	1,99 ± 0,03	2,81 ± 0,28
КарСХОС	1,97 ± 0,03	1,87 ± 0,23	1,96 ± 0,04	1,93 ± 0,10
ВКНИИСХ	1,81 ± 0,12	2,00 ± 0,30	1,89 ± 0,09	1,90 ± 0,17
Генетическое разнообразие (<i>H</i>) / Genetic diversity (<i>H</i>)				
НИИСХСЗ и ГАУСЗ	0,35	0,29	0,43	0,36
ЧелНИИСХ	0,50	0,69	0,45	0,55
АСХОС	0,38	0,56	0,49	0,48
КарСХОС	0,47	0,20	0,46	0,38
ВКНИИСХ	0,33	0,21	0,40	0,31

Таблица 5. Критерий идентичности (*I*) групп яровой мягкой пшеницы по частоте аллелей локусов *Glu-1*

Table 5. The criterion of identity (*I*) in allele frequency at the *Glu-1* loci for spring bread wheat groups

Сравниваемые группы пшеницы / Wheat groups compared	Глютенинкодирующие локусы (<i>Glu-1</i>) / Glutenin-coding loci (<i>Glu-1</i>)		
	<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>
Тюмень – Челябинск	6,34 (3,84)	12,01 (7,81)	0,00 (3,84)
Тюмень – Актюбинск	0,77 (3,84)	5,12 (11,1)	0,77 (3,84)
Тюмень – Караганда	2,79 (3,84)	1,39 (5,99)	0,00 (3,84)
Тюмень – ВКО	1,03 (3,84)	2,88 (9,49)	9,26 (3,84)
Челябинск – Актюбинск	3,48 (3,84)	7,93 (11,1)	0,00 (3,84)
Челябинск – Караганда	1,17 (3,84)	17,99 (9,49)	0,00 (3,84)
Челябинск – ВКО	5,39 (3,84)	15,31 (9,49)	7,19 (3,84)
Актюбинск – Караганда	0,83 (3,84)	6,34 (11,1)	0,00 (3,84)
Актюбинск – ВКО	0,00 (3,84)	4,54 (11,1)	3,42 (3,84)
Караганда – ВКО	2,27 (3,84)	1,76 (7,81)	7,94 (3,84)

Примечание: В скобках – табличное значение χ^2 для 5-процентного уровня значимости. ВКО – Восточно-Казахстанская область
Note: The values of χ^2 for the 5% level of significance are parenthesized in the table. "ВКО" means East Kazakhstan Region

тель внутривидового разнообразия ($4,57 \pm 0,68$) зафиксирован для АСХОС за счет наличия довольно редких аллелей *f* и *g*, тогда как минимальное значение наблюдалось у пшеницы КСХОС. Генетическое разнообразие (*H*) варьирует от 0,20 до 0,69. Для локуса *Glu-A1* показатель *H* примерно на одинаковом уровне для сортов из НИИСХСЗ и ГАУСЗ, АСХОС, ВКНИИСХ, и соотношение между аллелями *Glu-A1b* и *Glu-A1c* близко к 7 : 3 (см. табл. 3). Низкие значения генетического разнообразия локуса *Glu-B1* зафиксированы для тюменской, карагандинской и восточно-казахстанской пшеницы, что связано с малым числом идентифицированных аллелей. Тогда как значение *H* локуса *Glu-D1* практически одинаково для пшеницы из различных регионов.

Для оценки различий между группами сортов и линий пшеницы различного происхождения был использован критерий идентичности (*I*). Если полученная величина *I* превышает табличное значение χ^2 с определенным уровнем значимости, то различия между группами считаются достоверными. Исходя из результатов статистического анализа (см. табл. 5) видно, что достоверные различия отмечены для нескольких групп пшеницы. При этом отличие, рассчитанное для одного локуса, не всегда распространяется на остальные. Так, сорта пшеницы тюменского происхождения достоверно отличаются от челябинских только по аллелям локусов *Glu-A1* и *Glu-B1*, тогда как по аллелям локуса *Glu-D1* различий нет. Также по двум аллельным вариантам локусов: *Glu-B1* и *Glu-D1* отличаются челябинские сорта от сортов пшеницы восточно-казахстанской селекции.

Аллельными вариантами одного локуса пшеница восточно-казахстанской селекции отличается от карагандинской и тюменской. Отметим, что разнообразие глутенинкодирующих локусов в исследованных образцах пшеницы невысокое. Так, например, идентифицированные аллели локусов *Glu-A1* и *Glu-D1* были общими для всех групп, отличия выявили по частоте встречаемости аллелей и, соответственно, их соотношению. Некоторое разнообразие наблюдалось лишь в локусе *Glu-B1*.

Обсуждение результатов

Полученные результаты могут стать основой стратегии отбора генотипов пшеницы с определенным сочетанием аллелей глутенина. Данное исследование позволило идентифицировать аллели локусов *Glu-1*, которые распространены в сортах пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях. В проведенном исследовании характеристики каждого глутенинкодирующего локуса изученных образцов пшеницы будут обсуждаться отдельно.

Локус *Glu-A1*.

На основе изучения коллекции из 54 российских и 76 казахстанских образцов пшеницы в локусе *Glu-A1* идентифицировано два аллеля: *b* и *c*, с различной встречаемостью. Поэтому можно предположить, что для исследуемых регионов характерными аллелями являются *b* и *c*. Тем не менее аллель *b* (ВМСГ 1Ах2*) предпочтительнее, чем нуль-аллель *c*, ввиду того, что аллель *b* вносит больший положительный вклад в хлебопекарное качество, чем аллель *c*. Установлено, что замена аллеля *c* у сорта 'Chinese Spring' на аллель *b* от сорта 'Cheyenne' в результате скрещиваний и отбора рекомбинатов приводит к улучшению качества хлеба (Mansur et al., 1990). В целом, исходя из анализа частот встречаемости, ал-

лель *b* преобладает практически во всех изученных регионах, за исключением челябинского. При этом оказалось, что аллель *b* может быть связан с устойчивостью к засухе (Dobrotvorskaya, Martynov, 2011).

Локус *Glu-B1*.

Среди шести идентифицированных аллелей наибольшая частота встречаемости по всем изученным регионам зафиксирована для аллеля *c* (1Вх7+1Ву9). Отметим, что данный аллель широко распространен и встречается во многих сортах пшеницы (Payne et al., 1987; Morgunov et al., 1990; Gianibelli et al., 2002; Khalid, Hameed, 2019; Chen et al., 2019; Utebayev et al. 2019). При изучении корреляции аллелей глутенинов яровой мягкой пшеницы с условиями произрастания была выявлена связь *Glu-B1c* с засухоустойчивостью. Однако, как оказалось, данный аллель часто встречается и в озимых формах мягкой пшеницы, произрастающих во влажных и прохладных условиях (Dobrotvorskaya, Martynov, 2011). Вторым по частоте распространения (13,5%) оказался аллель *a* (1Вх7). При достаточно низкой оценке по шкале Пейна, данный аллель встречается в карагандинской пшенице, что, вероятно, связано с особенностями селекционного отбора для условий Центрального Казахстана. К тому же установлено, что отсутствие субъединицы 1Вх7 может негативно сказаться на качестве теста (Chen et al., 2019). В начале 2000 годов (Butow et al., 2003) было установлено, что под контролем локуса *Glu-B1* может синтезироваться аллельная субъединица 1Вх7^{OE}, которая не отличается по подвижности от «классической» 1Вх7, но имеет более интенсивную окраску на геле за счет сверхэкспрессии, а также положительно влияет на качество теста (Li et al., 2020). Возможно, что идентифицированная нами субъединица 1Вх7 – это аллельная 1Вх7^{OE}. Поэтому имеет смысл провести более глубокий анализ пшеницы с помощью молекулярных маркеров. Менее распространенным оказался аллель *b* (общая частота 5,8%), контролирующей синтез пары компонентов 1Вх7+1Ву8. Предпочтительность аллеля *b* по сравнению с аллелем *c* была доказана экспериментально. Так, замена аллеля *b* (1Вх7+1Ву8) на аллель *c* (1Вх7+1Ву9) улучшала качество хлеба (Mansur et al., 1990), тогда как первоначальные данные указывали на негативное влияние аллеля *b* (Branlard, Dardevet, 1985). Такие противоречия в результатах, вероятно, связаны с влиянием не только высокомолекулярных субъединиц глутенина, но и низкомолекулярного глутенина и глиадина. Стоит обратить внимание на аллель *f* (общая частота 1,5%), контролирующей синтез субъединиц 1Вх13+1Ву16, обнаруженный только в двух образцах – ГВК-2127 (ВКНИИЗХ) и 'Актобе 42' (АСХОС). Интерес связан с высокой оценкой по шкале качества, и возможно, что данные образцы пшеницы могут быть использованы в селекции на качество зерна.

Локус *Glu-D1*.

Локус *Glu-D1* представлен двумя идентифицированными аллелями: *a* и *d*, которые встречаются в российской и казахстанской пшенице. Результаты изучения мировой коллекции мягкой пшеницы также указывают на их широкое распространение, а соответственно и на распространение контролируемых ими компонентов 1Dх2+1Dу12 и 1Dх5+1Dу10 (Ayala et al., 2016). При объединении частот встречаемости аллелей по данному локусу установлено, что среди изученных 130 образцов пшеницы наибольшее распространение получил аллель *d* с частотой 58,5%. Данное наблюдение вполне со-

гласуется с направлением селекции пшеницы на повышение качества зерна. Тем не менее довольно высокая встречаемость ВМСГ 1Dx2+1Dy12 свидетельствует о том, что данные субъединицы также играют значительную роль в формировании хлебопекарных качеств. Например, есть предположение о возможной связи аллеля *a* (ВМСГ 1Dx2+1Dy12) с засухоустойчивостью (Dobrotvorskaya, Martynov, 2011), тогда как аллель *d* характерен для пшеницы, адаптированной к влажным условиям. Стоит отметить, что большинство сортов пшеницы, обладающих высоким качеством зерна, Северного Казахстана (Utebayev et al., 2019), Индии (Goel et al., 2018), Турции (Temizgul et al., 2016), Саратова и Омска (Rabinovich et al., 1998) по локусу *Glu-D1* чаще содержат аллель *a*. Получается, что аллель *Glu-D1a* не всегда связан с пониженным качеством. Такое несоответствие, возможно, обусловлено тем, что относительно недавно были идентифицированы гены, контролирующие синтез субъединиц 1Dy12.7 (Peng et al., 2015), 1Dy12** (Du et al., 2019), которые не отличаются по подвижности в SDS-PAGE от стандартной 1Dy12, но сопряжены с повышенным качеством, как и 1Dy10.

Заключение

Таким образом, российская и казахстанская пшеница имеют невысокую генетическую изменчивость по глютеинирующим локусам. В пшенице из различных регионов чаще присутствовали комбинации субъединиц глютеина: 2*, 7+9, 5+10 (9 баллов) – Тюмень и Актобинск; 2*, 7+9, 2+12 (7 баллов) – Челябинск и ВКО; Null, 7, 5+10 (6 баллов) – Караганда. По глютеинирующему локусу *B1* в образцах ГВК-2127 (ВКНИИЗХ) и 'Актобе 42' (АСХОС) идентифицирован редкий для условий Северного Казахстана аллель *Glu-B1f*, контролирующий синтез субъединиц 1Bx13+1By16, оцениваемый высоким баллом по шкале Пейна. Соответственно, данные образцы пшеницы могут представлять интерес для селекции на качество зерна.

Сорта челябинской пшеницы достоверно отличались от восточно-казахстанской (локусы *Glu-A1* и *Glu-D1*) и тюменской (локусы *Glu-A1* и *Glu-B1*), что подтверждается данными статистического анализа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по проекту № BR 05236351 «Управление экологическими рисками при производстве зерна на основе различной степени интенсификации земледелия в целях предотвращения неблагоприятных эффектов для здоровья населения и окружающей среды».

This study was accomplished with the financial support from the Ministry of Education and Science, Republic of Kazakhstan, for Project No. BR 05236351 "Environmental risk management in grain production on the basis of different degree of intensification in agriculture for the purpose of preventing negative effects on public health and the environment".

References / Литература

Ayala M., Guzmán C., Peña R.J., Alvarez J.B. Diversity of phenotypic (plant and grain morphological) and genotypic (glutenin alleles in *Glu-1* and *Glu-3* loci) traits of

wheat landraces (*Triticum aestivum* L.) from Andalusia (Southern Spain). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2016;63(3):465-475. DOI: 10.1007/s10722-015-0264-0

Branlard G., Dardevet M. Diversity of grain proteins and bread wheat quality. II. Correlation between molecular weight subunits of glutenin and flour quality characteristics. *Journal of Cereal Science*. 1985;3(4):345-354. DOI: 10.1016/S0733-5210(85)80007-2

Butow B.J., Ma W., Gale K.R., Cornish G.B., Rampling L., Larroque O. et al. Molecular discrimination of Bx7 alleles demonstrates that a highly expressed high-molecular-weight glutenin allele has a major impact on wheat flour dough strength. *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;107(8):1524-1532. DOI: 10.1007/s00122-003-1396-8

Chen Q., Zhang W., Gao Y., Yang C., Gao X., Peng H. et al. High molecular weight glutenin subunits 1Bx7 and 1By9 encoded by *Glu-B1* locus affect wheat dough properties and sponge cake quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;67(42):11796-11804. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b05030

Dobrotvorskaya T.V., Martynov S.P. Analysis of diversity of Russian and Ukrainian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for high-molecular-weight glutenin subunits. *Russian Journal of Genetics*. 2011;47(7):799-812. DOI: 10.1134/S1022795411070052

Du X., Hu J., Ma X., He J., Hou W., Guo J. et al. Molecular characterization and marker development for high molecular weight glutenin subunit 1Dy12** from Yunnan hulled wheat. *Molecular Breeding*. 2019;39(1):4. DOI: 10.1007/s11032-018-0910-2

Galili G., Feldman M. Genetic control of endosperm proteins in wheat: 2. Variation in high molecular weight glutenin and gliadin subunits of *Triticum aestivum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1983;66(1):77-86. DOI: 10.1007/BF00281853

Gianibelli M.C., Echaide M., Larroque O.R., Carrillo J.M., Dubcovsky J. Biochemical and molecular characterisation of *Glu-1* loci in Argentinean wheat cultivars. *Euphytica*. 2002;128(1):61-73. DOI: 10.1023/A:1020643702867

Goel S., Yadav M., Singh K., Jaat R.S., Singh N.K. Exploring diverse wheat germplasm for novel alleles in HMW-GS for bread quality improvement. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;55(8):3257-3262. DOI: 10.1007/s13197-018-3259-y

Hernández-Estrada Z.J., Rayas-Duarte P., Cárdenas J.D.D.F. Creep recovery of wet gluten and high-molecular-weight glutenin subunit composition: Relationship with viscoelasticity of dough and breadmaking quality of hard red winter wheat. *Cereal Chemistry*. 2017;94(2):223-229. DOI: 10.1094/CCHEM-03-16-0049-R

Khalid A., Hameed A. Characterization of Pakistani wheat germplasm for high and low molecular weight glutenin subunits using SDS-PAGE. *Cereal Research Communications*. 2019;47(2):345-355. DOI: 10.1556/0806.47.2019.13

Laemmli U.K. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature*. 1970;227(5259):680-685. DOI: 10.1038/227680a0

Li S., Liu Y., Tong J., Yu L., Ding M., Zhang Z. et al. The overexpression of high-molecular-weight glutenin subunit Bx7 improves the dough rheological properties by altering secondary and micro-structures of wheat gluten. *Food Research International*. 2020;130:108914. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108914

Lookhart G.L., Hagman K., Kasarda D.D. High-molecular-weight glutenin subunits of the most commonly grown wheat cultivars in the U.S. in 1984. *Plant Breeding*. 1993;110(1):48-62. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1993.tb00568.x

- Lukow O.M., Payne P.I., Tkachuk R. The HMW glutenin subunit composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1989;46(4):451-460. DOI: 10.1002/jsfa.2740460407
- Mansur L.M., Qualset C.O., Kasarda D.D. Effects of 'Cheyenne' chromosomes on milling and baking quality in 'Chinese Spring' wheat in relation to glutenin and gliadin storage proteins. *Crop Science*. 1990;30(3):593-602. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000030026x
- Morgunov A.I., Rogers W.J., Sayers E.J., Metakovsky E.V. The high-molecular-weight glutenin subunit composition of Soviet wheat varieties. *Euphytica*. 1990;51:41-52. DOI: 10.1007/BF00022891
- Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1973;70(12):3321-3323. DOI: 10.1073/pnas.70.12.3321
- Obukhova L.V., Shumny V.K. The inheritance of endosperm storage proteins by the line of the Saratovskaya 29 cultivar of common wheat from its parental forms. *Russian Journal of Genetics*. 2016;52(1):49-55. DOI: 10.1134/S1022795416010117
- Patey A.L., Waldron N.M. Gliadin proteins from Maris Widgeon wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1976;27(9):838-842. DOI: 10.1002/jsfa.2740270908
- Payne P.I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Annual Review of Plant Physiology*. 1987;38(1):141-153. DOI: 10.1146/annurev.pp.38.060187.001041
- Payne P.I., Lawrence G.J. Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Research Communications*. 1983;11:29-35.
- Payne P.I., Nightingale M.A., Krattiger A.F., Holt L.M. The relationship between HMW glutenin subunit composition and bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1987;40(1):51-65. DOI: 10.1002/jsfa.2740400108
- Peng Y., Yu K., Zhang Y., Islam S., Sun D., Ma W. Two novel y-type high molecular weight glutenin genes in Chinese wheat landraces of the Yangtze-River region. *PloS One*. 2015;10(11):e0142348. DOI: 10.1371/journal.pone.0142348
- Rabinovich S.V., Panchenko I.A., Parchomenko R.G., Bondarenko V.N. High-molecular weight glutenin subunit composition of spring bread wheats grown in the Ukraine and the Russian Federation between 1995-97 and its connection with pedigrees. *Annual Wheat Newsletter*. 1998;44:236-251.
- Ravel C., Faye A., Ben-Sadoun S., Ranoux M., Dardevet M., Dupuits C. et al. SNP markers for early identification of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GSs) in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2020;133(3):751-770. DOI: 10.1007/s00122-019-03505-y
- Rogers W.J., Payne P.I., Seekings J.A., Sayers E.J. Effect on breadmaking quality of x-type and y-type high molecular weight subunits of glutenin. *Journal of Cereal Science*. 1991;14(3):209-221. DOI: 10.1016/S0733-5210(09)80040-4
- Shavrukov Y. Comparison of SNP and CAPS markers application in genetic research in wheat and barley. *BMC Plant Biology*. 2016;16 Suppl 1:11. DOI: 10.1186/s12870-015-0689-9
- Temizgul R., Akbulut M., Lafiandra D. Genetic diversity of high-molecular-weight glutenin subunit compositions in bread wheat landraces originated from Turkey. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. 2016;16(01):28-38. DOI: 10.1017/s1479262116000356
- Utebayev M., Dashkevich S., Kunanbayev K., Bome N., Sharipova B., Shavrukov Y. Genetic polymorphism of glutenin subunits with high molecular weight and their role in grain and dough qualities of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2019;41(5):71. DOI: 10.1007/s11738-019-2862-5
- Zaitseva O.I., Burakova A.A., Babkenov A.T., Babkenova S.A., Utebayev M.U., Lemesh V.A. Allelic variation of high-molecular-weight glutenin genes in bread wheat. *Cytology and Genetics*. 2017;51(6):432-440. DOI: 10.3103/S0095452717060123
- Zhivotovsky L.A. Population biometry (Populyatsionnaya biometriya). Moscow: Nauka; 1991. [in Russian] (Животовский Л.А. Популяционная биометрия. Москва: Наука; 1991).
- Zhivotovsky L.A. Population similarity measure for polymorphic characters (Pokazatel skhodstva populatsiy po polimorfnyim priznakam). *Journal of General Biology*. 1979;40(4):587-602. [in Russian] (Животовский Л.А. Показатель сходства популяций по полиморфным признакам. *Журнал общей биологии*. 1979;40(4):587-602).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Утебаев М.У., Боме Н.А., Земцова Е.С., Крадецкая О.О., Чилимова И.В. Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютеина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):99-109. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109

Utebayev M.U., Bome N.A., Zemtsova E.C., Kradetskaya O.O., Chilimova I.V. Diversity of high-molecular-weight glutenin subunits and evaluation of genetic similarities in spring bread wheats from different breeding centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):99-109. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-99-109>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Utebayev M.U. <https://orcid.org/0000-0003-0729-0592>
Bome N.A. <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Zemtsova E.C. <https://orcid.org/0000-0003-3303-6416>
Kradetskaya O.O. <https://orcid.org/0000-0003-4904-2837>
Chilimova I.V. <https://orcid.org/0000-0002-8016-646X>

Аспекты применения метода химического мутагенеза при создании сортов *Calendula officinalis* L.

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-110-122

УДК 633.8:631.524.1

Поступление/Received: 27.07.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



Aspects of applying the method of chemical mutagenesis to develop cultivars of *Calendula officinalis* L.

Ф. М. ХАЗИЕВА*, И. Н. КОРОТКИХ

F. M. KHAZIEVA*, I. N. KOROTKIKH

Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, 117216 Россия, г. Москва, ул. Грина, 7
✉ *vilar.6@yandex.ru; slavnica241270@yandex.ru

All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, 7 Grina St., Moscow 117216, Russia
✉ *vilar.6@yandex.ru; slavnica241270@yandex.ru

Актуальность. Необходимость непрерывной селекционной работы по созданию новых сортов *Calendula officinalis* L. вызвана накоплением малоценных генотипов в уже возделываемых сортах вследствие перекрестного характера опыления.

Материалы и методы. Семена, отобранные из высокоурожайных биотипов сорта 'Кальта', обрабатывались различными мутагенами в экспозиции 18 часов. Определяли частоту мутаций в первом мутантном поколении (M_1), посевные качества семян, оценивали жизнеспособность растений в условиях полевой культуры. В фазе «массовое цветение» учитывали изменения по следующим признакам: «высота растения», «число листьев», «число соцветий на растении», «диаметр соцветий», «число рядов язычковых цветков», «масса одного соцветия». Урожайность сырья (свежую и воздушно-сухую массу соцветий) рассчитывали по каждому сбору и по сумме семи сборов в период цветения.

Результаты. Наиболее эффективными мутагенами при создании нового исходного материала для селекции *C. officinalis* оказались ДЭС_{0,05%} и ДМС_{0,08%}. Обработка нитрозометилмочевиной (НММ_{0,02%} и НММ_{0,04%}) привела к нарушению процесса плодообразования. В результате многолетней селекционной работы (2009–2016 гг.) на основе мутантных поколений M_2 – M_3 созданы сорта 'Золотое море' и 'Райский сад', превосходящие сорт 'Кальта' по урожайности соцветий на 39 и 30%, по урожайности семян на 48 и 49%, по содержанию экстрактивных веществ на 13,8 и 21,3%, по содержанию суммы флавоноидов на 29,9 и 43,3% соответственно.

Заключение. Новые сорта *C. officinalis* 'Золотое море' и 'Райский сад' созданы в соответствии со схемой мутационной селекции с применением метода химического мутагенеза, корреляционного и вариационного анализов, с проведением расширенного отбора растений, измененных по морфологическим признакам, продуктивности и содержанию биологически активных веществ (в первом мутантном поколении) и оценкой по однородности, отличимости и стабильности во втором и последующих поколениях.

Ключевые слова: календула лекарственная, селекция, химический мутагенез, сорт, признаки, продуктивность.

Background. The need for continuous breeding practice to develop new varieties of *Calendula officinalis* L. is induced by the accumulation of low-grade morphotypes in the already existing cultivars as a result of crosspollination.

Materials and methods. Seeds selected from high-yielding biotypes of cv. 'Kalta' were treated with various mutagens for 18 hours, using 1000 seeds for each option. The mutation rate in the M_1 generation and seed quality were determined, and plant viability was assessed under field conditions. Plant height, number of branches, number of leaves, number of inflorescences per plant, inflorescence diameter, number of ray floret rows, and weight of one inflorescence were measured in the mass flowering phase. The yield of raw materials (fresh and air-dry biomass of inflorescences) was calculated for each harvest and for the total amount of all 7 harvests during the flowering period.

Results. The mutagens DES_{0,05%} and DMS_{0,08%} turned out the most effective for developing new source material. None of the plants produced seeds after treatment with nitroso-methyl urea (NMU_{0,02%}), and only one plant produced seeds after treatment with NMU_{0,04%}. As a result of a long-term breeding process (2009–2016), new varieties were developed on the basis of mutant generations M_2 – M_3 : cvs. 'Zolotoe more' and 'Rajskij sad', both exceeding cv. 'Kalta' in the yield of inflorescences by 39 and 30%, seed yield by 48 and 49%, total extractives by 13.8 and 21.3%, and total flavonoids by 29.9% and 43.3%, respectively.

Conclusion. New cultivars of *C. officinalis*, 'Zolotoe more' and 'Rajskij sad', were developed in accordance with the mutation breeding scheme that employed methods of chemical mutagenesis, with expanded selection of plants altered in their morphological characteristics, productivity and content of bioactive compounds in the first mutant generation and assessment of uniformity, distinctness and stability in the second and subsequent generations.

Key words: common marigold, plant breeding, chemical mutagenesis, cultivar, traits, productivity.

Введение

Календула лекарственная, или ноготки лекарственные (*Calendula officinalis* L.), является одним из наиболее важных видов лекарственных растений, возделываемых во многих странах мира, таких как Германия, Великобритания, Нидерланды, США, Испания, Индия, Румыния, Франция.

Наиболее распространенными препаратами на основе лекарственного растительного сырья *C. officinalis* являются: настойка календулы (*Tinctura Calendulae*); настой цветков календулы (*Infusum florum Calendulae*); мазь «Календула» (*Unguentum Calendulae*); Калефлон (*Caleflonum*) и многие другие. Другие изделия широко применяются в косметике, пищевой индустрии и фармакологии (Długosz et al., 2013).

В России селекция календулы направлена преимущественно на создание сортов, предназначенных для медицинского использования. Календула лекарственная в промышленных масштабах возделывается в Центрально-Черноземной зоне России, на Северном Кавказе, а также в Белоруссии и на Украине. Несколько десятилетий традиционными сортами для производства лекарственного растительного сырья ноготков являлись сорта 'Рыжик' (с 1981 г.), 'Кальта' (с 1984 г.), 'Сахаровская Оранжевая' (с 1990 г.).

Возделываемые сорта должны обладать экологической пластичностью, то есть сохранять стабильно высокую урожайность и быть адаптированными к разным природно-климатическим условиям. Примером такого сорта служит сорт календулы лекарственной 'Кальта', который возделывался в СССР и в настоящее время возделывается в России. Сорт 'Кальта' был включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, в 1984 г., характеризуется оранжево-желтой окраской язычковых цветков¹ и желтой окраской трубчатых (Methods of trials..., 1999).

Урожайность лекарственного растительного сырья (соцветий) ноготков напрямую связана с махровостью соцветий – чем больше число рядов язычковых цветков, тем больше урожайность соцветий: если масса одного сырого соцветия в среднем у немахровых соцветий составляет 1,5 г, то у махровых – 2,2 г. Также и урожайность семян напрямую коррелирует с махровостью соцветий: на одном полностью махровом соцветии – более 100 семян, в то время как на немахровом соцветии размещается только около 30 семян (Ismagilov, Kostylev, 2000).

За многие годы промышленного возделывания сорт 'Кальта' вследствие перекрестного характера опыления потерял не только морфологические, но и хозяйственно полезные признаки. К началу нашего исследования (2009 г.) у сорта 'Кальта' наблюдался широкий полиморфизм морфологических признаков – соцветия отличались по диаметру (от 3 до 10 см), числу рядов язычковых цветков (от 1 до 5 шт.), по цвету трубчатых цветков (от желтого, оранжевого до светло-коричневого и коричневого цветов) и язычковых цветков (от светло-желтого до оранжевого). В связи с вышесказанным возникла необходимость возобновления селекционной работы с целью создания новых сортов календулы, характеризующихся комплексом отличительных и устойчивых морфологических и хозяйственно биологических показателей.

Махровость соцветий обусловлена формированием преимущественно женских язычковых цветков, у которых полностью подавлено развитие тычинок и сильно разрастается венчик. Махровость выше в прохладные и влажные годы, то есть в определенной мере зависит от метеорологических условий – температуры и влагообеспеченности в период формирования генеративного побега. Кроме того, махровость соцветий может возникать как мутация при обработке семян различными мутагенами.

Химический мутагенез – это простой подход, который используется для получения мутаций у экономически важных культур или видов растений, для улучшения их полезных хозяйственных признаков. В последнее десятилетие насчитывалось более 2543 мутантных сортов, созданных в 50 странах мира, полученных из 175 видов растений, включая декоративные, зерновые, масличные, бобовые, овощные, плодовые (Chopra, 2005). В селекционной работе подбор эффективного и действенного мутагена важен для получения высокой частоты желательных мутаций и морфологически разнородных форм с целью вовлечения их в селекционный процесс (Roychowdhury, Tah, 2011). В частности, махровость соцветий может возникать при обработке семян диметилсульфатом (ДМС). Данный мутаген влияет на процесс мейоза: у махровых растений, начиная с профазы, первое деление мейоза протекает со значительными нарушениями (Tatevosyan, 1979).

В последние годы возобновились исследования по влиянию на календулу лекарственную различных мутагенов в различных концентрациях – колхицина, 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты, азида натрия (SA), диэтилового сульфата (DES) и др. Отмечено как стимулирующее, так и угнетающее действие в зависимости от типа и дозы применяемого мутагена (Vätavu et al., 2008; El-Nashar, Asrar, 2016).

Целью данного исследования было создание селекционного материала календулы лекарственной с использованием метода химического мутагенеза для получения новых высокопродуктивных сортов.

Материалы и методы

Опыты проводили на опытных полях отдела агробиологии и селекции Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР; Москва) в 2009–2016 гг. Почвенный покров опытного участка представлен дерново-подзолистыми средне-оподзоленными пылеватыми суглинками (мощностью 80–100 см), подстилаемыми моренными отложениями. Пахотный горизонт – мощностью 22–23 см, буровато-серой окраски, мелкокомковатый или комковатый. По гранулометрическому составу почва пахотного слоя среднесуглинистая. Содержание агрономически ценных водопрочных агрегатов (> 0,5 мм) составляет 40–50%. Агрохимические показатели почвы составляют: содержание гумуса – 2,1%, содержание подвижного фосфора P_2O_5 – 52 мг/кг, обменного калия K_2O – 87 мг/кг, pH – 5,5 (Zagumennikov, 2006).

Семена, отобранные из высокоурожайных биотипов сорта 'Кальта' (далее контроль), обрабатывались различными мутагенами. Семена замачивали в экспозиции 18 часов в растворах мутагенов: НММ (нитрозо-метилмочевина) в концентрации 0,02 и 0,04%, ДЭС (диэтилсульфат) – 0,025 и 0,05%, ЭМС (этилметилсуль-

¹ ложноязычковые цветки (прим. ред.)

фат) – 0,03%, ДМС (диметилсульфат) – 0,04, 0,06 и 0,08%. Число семян в опыте по каждому варианту – 1000 шт. Обработку семян мутагенами проводили в Институте биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН. Контроль – семена, замоченные в воде. После обработки проросшие семена промывали в чистой воде, проводили пикировку и выращивали в теплице для получения рассады. Питомник M_1 (первое мутантное поколение) был заложен трехнедельной рассадой, которую высаживали по схеме 60 × 30 см. Питомник растений M_2 (второе мутантное поколение) заложен грунтовым посевом семян, полученных с индивидуальных растений в M_1 . Площадь делянки в питомнике M_1 – 15,2 м² без повторностей, число учетных растений – 70–90; площадь делянки в питомниках M_2 и M_3 – 11,2 м² в двукратной повторности (в питомнике M_3 – в четырехкратной повторности) каждого варианта, учетная площадь – 4,5 м².

Частоту мутаций в M_1 определяли, как отношение числа растений с мутациями к общему числу исследованных растений; учитывали показатели всхожести семян, а также выживаемость рассады в полевых условиях после воздействия мутагенов. Лабораторную всхожесть семян определяли на 1000 шт., обработанных мутагенами в каждом варианте опыта. В M_2 учитывали в фазе «массовое цветение» изменения по морфологическим признакам: «высота растений», «число листьев», «число соцветий на растении». В M_1 и M_2 по мере распускания цветков определяли диаметр соцветий, число рядов язычковых цветков, массу одного соцветия и различные морфологические изменения соцветий.

Наследуемость признаков проверяли во втором и третьем поколении (M_2 и M_3): учет по морфологическим признакам – аналогично учету в поколении M_1 ; урожайность сырья (соцветия) рассчитывали по сумме семи сборов соцветий в период цветения растений. Учитывали свежую и воздушно-сухую массу сырья по каждому сбору, использовали теплую сушку при температуре 45–50°C с принудительной вентиляцией в течение 18–20 часов. Средний коэффициент вариации рассчитывали в четырехкратной повторности для каждого варианта опыта.

При оценке изучаемых доз мутагенов руководствовались указаниями, изложенными в методике по использованию мутагенных факторов в селекции садо-

вых культур (Dryagina et al., 1979; Kudina, 2006). Для статистической интерпретации экспериментальных данных по влиянию химических мутагенов по исследуемым характеристикам использовали стандартные функции Microsoft Excel.

Содержание действующих веществ определяли в Центре химии и фармацевтической технологии ФГБНУ ВИЛАР согласно ФС.2.5.0030.15 «Ноготков лекарственных цветки» (State Pharmacopoeia..., 2018).

Результаты и обсуждение

При предварительном изучении исходного и сортового материала календулы лекарственной был применен корреляционный метод с целью установления связей между количественными признаками растений (табл. 1).

Высокая положительная корреляция наблюдалась между признаками «урожайность соцветий» – «общее число соцветий»; средняя корреляция – в паре признаков «масса одного соцветия» – «урожайность соцветий». Замечена отрицательная связь между признаками: «общее число соцветий» – «диаметр соцветия», «общее число соцветий» – «число рядов язычковых цветков», «урожайность соцветий» – «диаметр соцветий».

Данные таблицы 1 указывают на то, что, во-первых, высота растения не связана с урожайностью растений, во-вторых, с увеличением числа соцветий на растении диаметр соцветия уменьшается. Поэтому в дальнейшем отбирали растения средней высоты, а преимущественными признаками для отбора (в поколении M_1) были признаки: «диаметр соцветий» и «число рядов язычковых цветков».

Химические мутагены оказали как стимулирующее, так и ингибирующее действие на всхожесть семян, выживаемость и продуктивность растений M_1 календулы лекарственной. Установлено, что наиболее угнетающее влияние мутагены оказали на лабораторную всхожесть семян: сильное снижение всхожести наблюдалось в вариантах НММ (нитрозометилмочевина) в концентрации 0,02% и ДЭС (диэтилсульфат) в концентрации 0,04%. В полевых условиях наблюдали как угнетающее, так и стимулирующее действие на выживаемость рассады (табл. 2).

Таблица 1. Корреляция между некоторыми количественными признаками календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в контроле

Table 1. Correlations between some quantitative traits of *Calendula officinalis* L. in the control

Признаки / Traits	r
Высота растений – число соцветий / Plant height – number of inflorescences	–0,37 ± 0,175
Высота растений – масса соцветий с растения / Plant height – weight of inflorescences per plant	–0,17 ± 0,016
Общее число соцветий – число рядов язычковых цветков / Total number of inflorescences – number of ray floret rows	–0,59 ± 0,181
Масса одного соцветия – урожайность соцветий / Weight of one inflorescence – yield of inflorescences	0,53 ± 0,158
Урожайность соцветий – диаметр соцветий / Yield of inflorescences – inflorescence diameter	–0,39 ± 0,161
Урожайность соцветий – общее число соцветий / Yield of inflorescences – total number of inflorescences	0,85 ± 0,172

Таблица 2. Влияние химических мутагенов на всхожесть семян *Calendula officinalis* L., выживаемость и продуктивность растений в мутантном поколении M_1 (в среднем за 2010, 2011 гг.)**Table 2.** Effect of chemical mutagens on seed germination, seedling survival and plant productivity of *Calendula officinalis* L. in the M_1 mutant generation (mean for 2010 and 2011)

Вариант опыта / Experiment option	Лабораторная всхожесть семян / Laboratory germination of seeds		Выживаемость рассады в полевых условиях / Seedling survival in the field		Число растений с морфологическими изменениями / Number of plants with morphological changes		Урожайность соцветий / Yield of inflorescences	
	%	к контролю	%	к контролю	шт.	% к контролю	г/м ²	% к контролю
Контроль / Control	70	100	65	100	–	–	389,5	100
НММ _{0,02%}	18	26	17	26	20	80	42,8	11
НММ _{0,04%}	38	54	29	45	15	66	35,1	9
ДЭС _{0,025%}	20	29	51	78	12	14	280,4	72
ДЭС _{0,05%}	52	74	68	105	11	16	432,3	111
ЭМС _{0,03%}	34	48	58	89	15	38	350,1	90
ДМС _{0,04%}	21	30	38	58	8	15	194,8	50
ДМС _{0,06%}	33	47	42	66	11	16	151,9	39
ДМС _{0,08%}	45	64	76	107	12	18	428,5	110

Необходимо отметить, что мутагены и их дозы по-разному воздействовали в разные периоды роста и развития растений календулы: одни из них не вызывали существенных изменений или были стимуляторами, другие оказывали подавляющее действие в такой степени, что растения либо теряли жизнеспособность, либо становились менее приспособленными к условиям среды. Наибольший угнетающий эффект на лабораторную всхожесть наблюдался при воздействии мутагенами НММ в обеих концентрациях, и ДМС_{0,04%} и ДМС_{0,06%}. Наименьшее поражающее действие оказали на лабораторную всхожесть мутагены ДЭС (в обоих вариантах опыта) и ДМС_{0,08%}.

На выживаемость рассады календулы лекарственной в условиях открытого грунта, как в случае влияния на лабораторную всхожесть, сильное угнетающее дей-

ствие оказал мутаген НММ в обеих дозах. Следует отметить, что при обработке мутагеном НММ_{0,02%} ни одно из растений не образовало семян, а при НММ_{0,04%} лишь с одного растения получены семена, которые были невыполненными и имели низкую всхожесть. Стимулирующее действие оказали мутагены ДЭС_{0,05%} и ДМС_{0,08%}: выживаемость растений в полевых условиях по отношению к контролю составила 105 и 107% соответственно.

В полевых условиях изучались растения по признакам махровости, продуктивности и окраски язычковых и трубчатых цветков соцветий. Контролем служили растения, не обработанные мутагенами. Обработка семян мутагенами привела к аномалиям роста и развития растений и строения соцветий календулы лекарственной (рис. 1, 2).

**Рис. 1.** Аномалии в строении соцветий календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), возникшие вследствие обработки мутагенами**Fig. 1.** Abnormalities in the inflorescence structure of *Calendula officinalis* L. that occurred as a result of treatment with mutagens

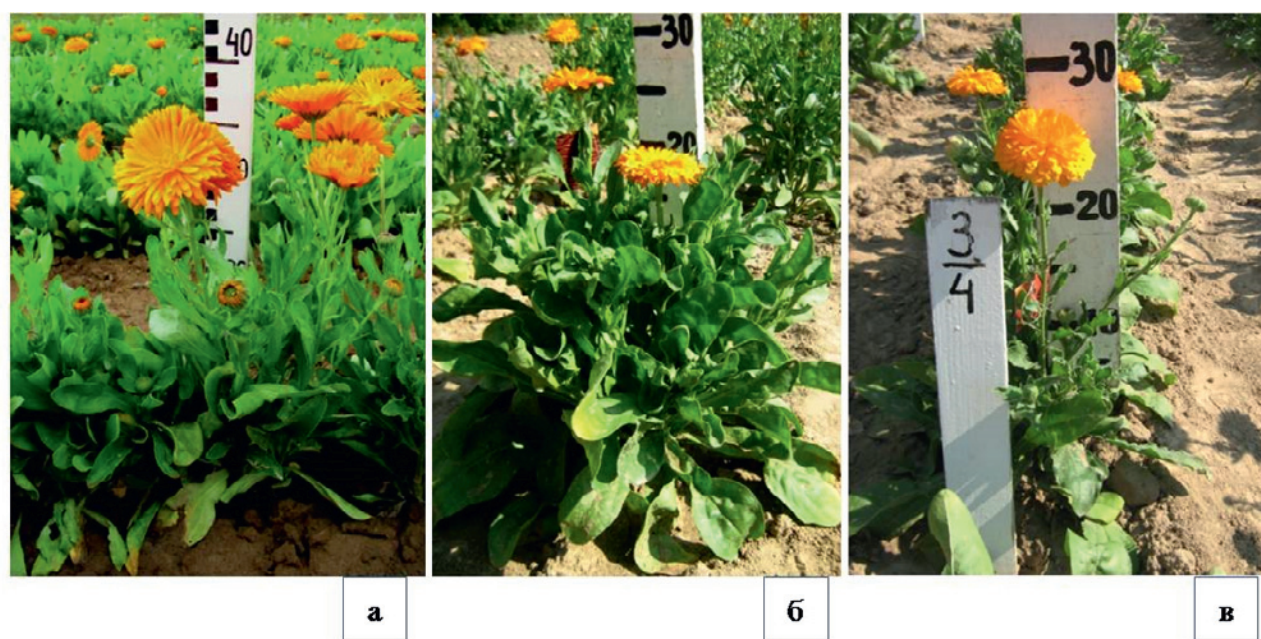


Рис. 2. Аномалии в развитии растений календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), возникшие вследствие обработки мутагенами:

а – срастание соцветия и низкорослость; **б** – низкорослость и кустистость; **в** – аномалии в числе разветвлений

Fig. 2. Abnormalities in the plant development of *Calendula officinalis* L. that occurred as a result of treatment with mutagens:

a – fused inflorescence and stunting; **b** – stunting and bushiness; **v** – abnormalities in the number of branches

Среди морфологических изменений большее их количество выявлено по признаку «высота растений»: отмечалась низкорослость, особенно при воздействии мутагеном ДМС_{0,08%} (27%), в меньшей степени – при дозе ДЭС_{0,05%} (15%).

Влияние мутагенов и их концентраций на продуктивность растений М₁ было различным: от стимулирующего (ДЭС_{0,05%} и ДМС_{0,08%}) до ингибирующего в значительной степени воздействия. Особенно резко снизилась продуктивность растений в М₁ под действием мутагена НММ в обеих концентрациях. Значительным было и негативное действие вариантов ДМС_{0,04%}, ДМС_{0,06%} и ДЭМ_{0,025%}.

Для количественной оценки отбираемого материала изучали естественную внутрипопуляционную изменчивость у исходной формы и в мутантных поколениях М₁–М₃ (табл. 3).

Согласно данным таблицы 3, в мутантных популяциях поколения М₁ наблюдалось возрастание степени изменчивости количественных признаков. Отмечено повышение вариабельности в опытных вариантах по признакам: «высота растений», «число рядов язычковых цветков», «сухая масса соцветий с растения» (40% в контроле и от 51 до 63% в опытах) и «число соцветий на растении» в сравнении с контролем (39% в контроле и от 52 до 64% в опытах). В поколении М₂ наблюдалось снижение вариабельности в вариантах опыта ДЭС_{0,05%} и ДМС_{0,08%} по признаку «число рядов язычковых цветков». Преимущественно пониженный уровень данного показателя наблюдался по признакам «высота растений» и «диаметр соцветий»; средний и повышенный уровень выявлен по другим исследованным признакам. Снижение коэффициента вариации в поколениях М₂–М₃ указывает на стабилизацию проявления признаков у растений, обработанных мутагенами.

Широкий спектр фармакологического действия цветков календулы лекарственной обусловлен содержанием

различных классов биологически активных соединений, основным из которых являются каротиноиды. Установлено, что содержание каротиноидов в сырье коррелирует со степенью махровости соцветий, которая обусловлена формированием преимущественно женских язычковых цветков и наследуется как рецессивный признак. Показано, что в разных сортах календулы лекарственной в зависимости от цвета язычковых и трубчатых цветков содержится разное количество каротиноидов (Pintea et al., 2003; Kishimoto et al., 2005). В связи с этим для медицинских целей широко культивируются махровые сорта, а селекционная работа в первую очередь ведется на повышение махровости соцветий. Исходя из этих источников, для дальнейшей работы нами были отобраны два морфотипа, отличающиеся по окраске трубчатых цветков – оранжевые и коричневые с выраженной махровостью соцветий. Наибольшее число семей с оранжевой окраской трубчатых цветков было обнаружено при обработке мутагеном ДЭС_{0,05%}, с коричневой окраской – при дозе ДМС_{0,08%}. Для дальнейшего отбора исходного материала был проведен химический анализ трубчатых и язычковых цветков из соцветий мутантных образцов (табл. 4).

Как видно из таблицы 4, показатель содержания суммы флавоноидов в пересчете на рутин неоднозначен: выше – в язычковых цветках соцветий с коричневой окраской трубчатых цветков, тогда как содержание в трубчатых цветках тех же соцветий – меньше на 18%. В соцветиях с оранжевой серединой наблюдается обратная связь – в трубчатых цветках флавоноидов больше, в язычковых – меньше на 8%. Следует отметить, что оба варианта превышают контроль по исследованным показателям.

Исходя из результатов оценки морфологических признаков и продуктивности растений в поколении М₁, в 2011 г. был заложен питомник поколения М₂, в котором

Таблица 3. Изменчивость количественных признаков календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в мутантных популяциях поколений M_1 – M_3 , V%

Table 3. Variability of quantitative characters in mutant populations of the M_1 – M_3 generations of *Calendula officinalis* L., V%

Признаки / Characters	Контроль	ДЭС _{0,025%}	ЭМС _{0,03%}	ДЭС _{0,05%}	ДМС _{0,08%}
Поклоение M_1 / Generation M_1					
Высота растений / Plant height	8,2	15,7	12,8	18,1	20,7
Диаметр соцветий / Diameter of inflorescences	8,8	17,7	20,7	19,6	28,9
Число рядов язычковых цветков / Number of ray floret rows	19,7	20,1	27,8	19,9	23,3
Сухая масса 1 соцветия / Dry weight of one inflorescence	19,7	21,0	24,0	24,2	26,9
Сухая масса соцветий с растения / Dry weight of inflorescences per plant	40,4	51,1	53,2	60,8	62,8
Число соцветий на растении / Number of inflorescences per plant	39,0	56,1	60,0	63,9	51,9
Содержание флавоноидов в сырье в пересчете на рутин / Content of flavonoids in raw material calculated for rutin	8	9	11	11	10
Поклоение M_2 / Generation M_2					
Высота растений / Plant height	7,9	9,9	7,9	10,3	7,6
Диаметр соцветий / Inflorescence diameter	7,4	14,6	10,1	9,7	9,1
Число рядов язычковых цветков / Number of ray floret rows	13,3	30,7	24,9	29,2	25,0
Сухая масса 1 соцветия / Dry weight of one inflorescence	9,3	9,7	14,9	6,7	14,4
Сухая масса соцветий с растения / Dry weight of inflorescences per plant	14,0	36,6	36,0	43,4	44,6
Число соцветий на растении / Number of inflorescences per plant	19,6	42,3	43,9	39,7	38,1
Содержание флавоноидов в сырье в пересчете на рутин / Content of flavonoids in raw material calculated for rutin	8	8	10	11	10
Поклоение M_3 / Generation M_3					
Высота растений / Plant height	7,9	8,7	7,2	7,8	5,6
Диаметр соцветий / Inflorescence diameter	10,1	7,4	8,8	7,9	7,3
Число рядов язычковых цветков / Number of ray floret rows	15,1	25,5	28,8	22,9	24,3
Сухая масса 1 соцветия / Dry weight of one inflorescence	17,7	19,4	18,0	13,8	16,6
Сухая масса соцветий с растения / Dry weight of inflorescences per plant	26,0	36,7	27,8	26,5	29,1
Число соцветий на растении / Number of inflorescences per plant	15,6	21,7	23,8	22,4	23,7
Содержание флавоноидов в сырье в пересчете на рутин / Content of flavonoids in raw material calculated for rutin	6	7	8	8	7

Таблица 4. Содержание флавоноидов в язычковых и трубчатых цветках соцветий разных морфотипов календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в М₁, 2010 г.**Table 4.** Content of flavonoids in ray and tubular florets in inflorescences of different morphotypes of *Calendula officinalis* L. in M₁, 2010

Варианты опыта / Experiment options	Сумма флавоноидов в пересчете на рутин, % / Total flavonoids calculated for rutin, %	
	Язычковые цветки / Ray florets	Трубчатые цветки / Tubular florets
Контроль / Control	1,53 ± 0,078	1,88 ± 0,086
Соцветия с оранжевой окраской трубчатых цветков / Inflorescences with orange tubular florets	2,00 ± 0,106	2,33 ± 0,125
Соцветия с коричневой окраской трубчатых цветков / Inflorescences with brown tubular florets	2,36 ± 0,078	2,16 ± 0,094

изучали наиболее перспективные образцы из семян, обработанных мутагенами ДЭС_{0,025%}, ДЭС_{0,05%}, ЭМС_{0,03%} и ДМС_{0,08%}. В таблице 5 представлены значения морфологических и хозяйственно ценных признаков наиболее перспективных образцов в поколении М₂.

Данные таблицы 5 показывают, что высота растений и диаметр соцветий не связаны с урожайностью соцветий, подтверждая тем самым результаты корреляционного анализа (см. табл. 1).

Урожайность воздушно-сухих соцветий учитывали за 7 сборов. В 2011, 2012 г. первый сбор соцветий был проведен 13–15 июля, последующие сборы – с периодичностью в 5–7 дней. Наибольшая урожайность соцветий в наших исследованиях приходилась на начало августа

(5-й сбор в 2011 г. и 5-й сбор в 2012 г.), наименьшим был первый сбор во II декаде июля (рис. 3, 4). Наибольший стимулирующий эффект на данный признак наблюдался при обработке мутагенами ДМС_{0,08%} и ДЭС_{0,05%} (см. рис. 3).

Изучение последующих поколений наиболее перспективных форм, выделенных в М₂, показало, что большинство видимых изменений являются модификациями, но некоторые из них (количество генеративных побегов, махровость и окраска соцветий) наследовались в последующих поколениях. Даже при обработке высокими дозами мутагенов в М₂ показатели и число форм с изменениями этих признаков оставались стабильными. Отдельно в условиях пространственной изоляции высевались низкорослые растения, но дан-

Таблица 5. Значения хозяйственно ценных признаков растений мутантных поколений М₂ календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), 2011–2012 гг.**Table 5.** Economically valuable characteristics of *Calendula officinalis* L. plants in the М₂ mutant generations, 2011–2012

Признаки / Characters	Варианты опыта / Experiment options					
	ДЭС _{0,025%}	ЭМС _{0,03%}	ДЭС _{0,05%}	ДМС _{0,08%}	Контроль / Control	НСР ₀₅
Высота растений, см / Plant height, cm	57,8	56,4	51,1	52,2	62,8	5,08
Число побегов, шт. / Number of shoots	4,0	3,3	4,9	4,7	3,5	0,31
Диаметр соцветия, см / Inflorescence diameter, cm	6,7	7,2	7,7	7,7	6,2	0,51
Число язычковых рядов, шт. / Number of ray floret rows	6,3	6,3	8,8	9,3	4,3	0,61
Масса 1 соцветия, г / Weight of one inflorescence, g	2,18	2,15	3,19	3,12	2,19	0,185
Урожайность сухих соцветий, кг/га / Yield of dry inflorescences, kg/ha	1551,4	1724,5	2034,9	2200,1	1547,3	146,52
Вегетационный период, сут. / Growing season, days	121	124	125	125	120	-
Урожайность семян, кг/га / Seed yield, kg/ha	668,7	711,7	896,5	912,5	661,8	76,71

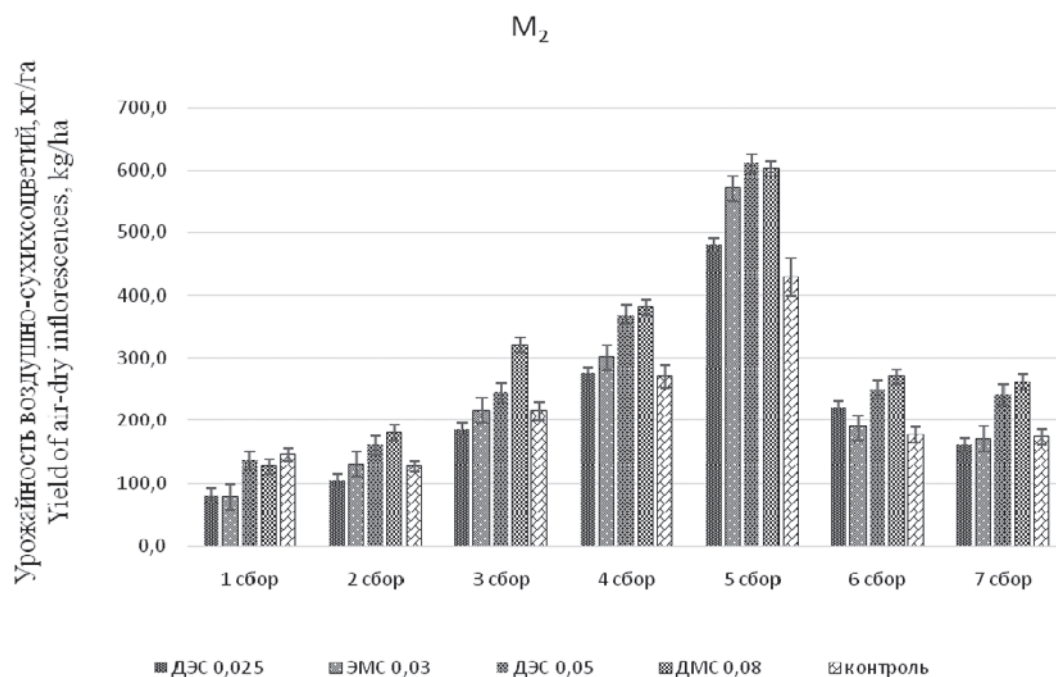


Рис. 3. Урожайность воздушно-сухих соцветий календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в поколении M_2 в зависимости от сбора, кг/га

Fig. 3. Yield of air-dry inflorescences of *Calendula officinalis* L. in the M_2 generation depending on the harvest, kg/ha

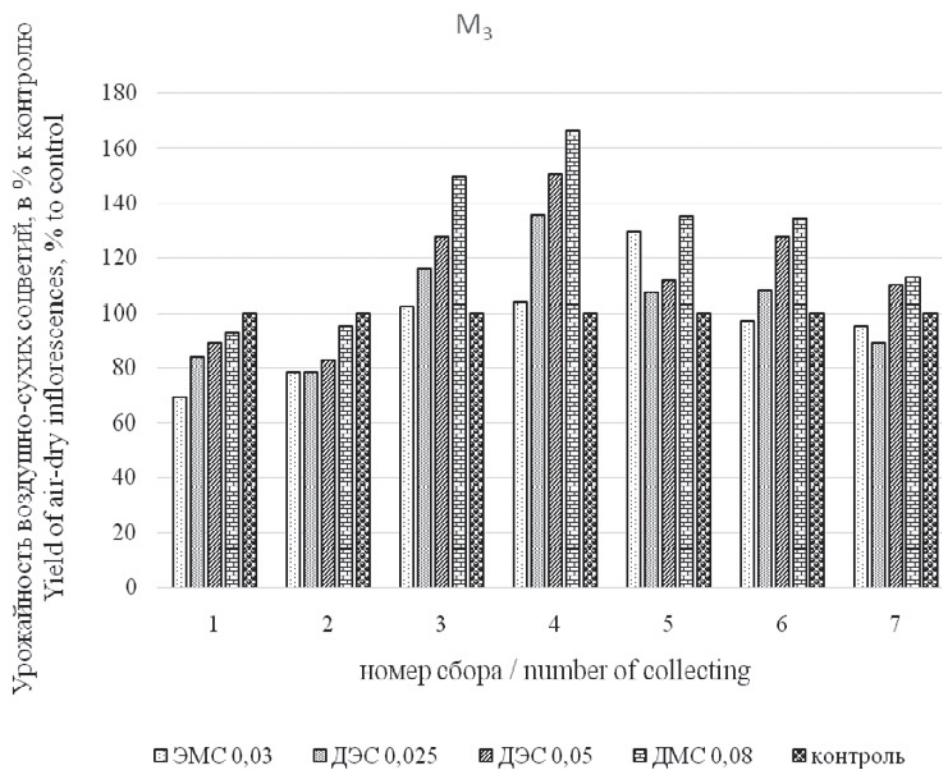


Рис. 4. Урожайность воздушно-сухих соцветий календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) в поколении M_3 в зависимости от сбора (% относительно к контролю)

Fig. 4. Yield of air-dry inflorescences of *Calendula officinalis* L. in the M_3 generation depending on the harvest (% to the control)

ный признак у календулы лекарственной в M_2 нивелировался. Следует вывод, что в данном случае наблюдалось угнетающее действие мутагенов.

По данным исследований в 2011–2013 гг. были получены и отобраны два перспективных образца: 18-06 – трубчатые цветки коричневые (результат воздействия ДМС в концентрации 0,08%) и 9-07 – трубчатые цветки оранжевые (результат воздействия ДЭС в концентрации 0,05%). В 2013–2015 гг. были заложены питомники конкурсного сортоиспытания двух перспективных номеров. На основе результатов конкурсного сортоиспытания были поданы заявки на получение допуска к использованию новых сортов календулы – ‘Золотое море’ (2014 г.) и ‘Райский сад’ (2016 г.) (Basalaeva et al., 2014; Gryaznov et al., 2016). Значения хозяйственно ценных признаков новых сортов представлены в таблице 6.

По данным таблицы 6, урожайность соцветий сортов ‘Золотое море’ и ‘Райский сад’ превосходит аналогичный

показатель контрольного сорта ‘Кальта’ на 39 и 30% соответственно.

Урожайность семян – это интегральный показатель, который определяется генотипом сорта, условиями выращивания и модификационной изменчивостью. Известно, что для календулы характерна ярко выраженная гетерокарпия (разнокачественность семян). Семена различной величины и формы (когтевидные, ладьевидные и кольцевидные, а также переходные между ними формы), с прямым маслянистым зародышем и очень тонким остаточным эндоспермом (Takhtajan, 1987).

В средней части немахровых и полумахровых корзинок формируются семена крючковидной фракции – мелкие, длиной 5–10 мм, с массой 1000 семян ~8 г. Ближе к краю корзинок располагаются семена ладьевидной фракции – крупные, длиной 10–20 мм, имеют наибольшую массу 1000 семян (~15 г) за счет широких «крыльев» (рис. 5).

Таблица 6. Характеристика новых сортов календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.) по результатам конкурсного сортоиспытания 2013–2015 гг.

Table 6. Characteristics of the new *Calendula officinalis* L. cultivars according to the results of the 2013–2015 competitive variety trials

Признаки / Characters	Кальта / Kalta	Золотое море / Zolotoe more	Райский сад / Rajsij sad	НСР ₀₅
Высота растений, см / Plant height, cm	58,1	51,6	52,5	5,21
Диаметр соцветия, см / Inflorescence diameter, cm	7,01	7,58	7,68	0,51
Число рядов язычковых цветков, шт. / Number of ray floret rows	4,33	8,17	8,98	0,68
Масса 1 соцветия (сырого), г / Weight of one inflorescence (fresh), g	2,11	3,17	3,12	0,705
Урожайность соцветий, кг/га / Yield of inflorescences, kg/ha	1536,3	2241,4	2011,7	145,28
Вегетационный период, дн. / Growing season, days	120	125	125	–



Рис. 5. Форма семян календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.):

а – ладьевидные; б – серповидные; в – крючковидные; г – кольцевидные

Fig. 5. Seed shapes of *Calendula officinalis* L.: а – navicular; б – falcate; в – hamate; г – annular

У самого края корзинок формируются семена серповидной фракции – длинные (до 25 мм), но лишённые «крыльев», и имеющие среднюю массу 1000 семян ~11 г. Плоды располагаются, в зависимости от степени махровости соцветия, в несколько рядов. Количественное соотношение трех типов семян в корзинке зависит от количества рядов семян. У немахровых соцветий с 2-3 рядами наружные крючковидные семена составляют ~40% от общего числа семян в соцветии, ладьевидные ~35%, серповидные ~25% (Kostylev et al., 2011).

Масса семени календулы находится в прямой зависимости от соотношения типов семян в соцветии и количества рядов семян. Масса 1000 семян у немахровых соцветий с большим количеством крупных серповидно-изогнутых и ладьевидных семян составляет в среднем 18 г. У махровых соцветий с подавляющим большинством мелких кольцевидных семян этот показатель не превышает 7–8 г. У контрольного сорта 'Кальта' в корзинке отмечено наибольшее число семян серповидной и ладьевидной формы (табл. 7), а в махровых соцветиях сорта 'Золотое море' наибольшее число семян – крючковидной и кольцевидной формы, что объясняется большим количеством рядов язычковых цветков, из которых и образуются семена такой формы. Полученные нами данные совпадают с результатами ранее опубликованных работ и подтверждают, что количественное соотношение типов семян в корзинке зависит от количества рядов семян (Ismagilov, Kostylev, 2000).

На растениях, выращенных из крючковидных семян, формируется на 37–85% больше махровых соцветий, чем на растениях, выращенных из семян других фракций. На рисунке 6 представлены соплодия сортов растений календулы лекарственной.

У сорта 'Золотое море' отмечается наибольшая урожайность семян и масса семян в корзинке, но наименьшая масса 1000 семян, что свидетельствует о наличии большого количества кольцевидных форм семян (табл. 8). По посевным качествам семена всех сортов соответствуют ГОСТ 34221-2017.

Химический состав календулы изучен достаточно подробно. В цветках и траве присутствуют такие соединения, как флавоноиды, ксантофиллы и каротиноиды, эфирное масло, кумарины (скополетин), водорастворимые полисахариды (14,75%) (Butnariu, Coradini, 2012). В сырье содержатся 2–10% тритерпеновых сапонинов (гликозиды олеаноловой кислоты), тритерпеновые спирты (ψ -тараксастерол, тараксастерол, фарадиол, арнидиол, гелиантриол), стероиды. Наиболее активным считается фарадиол, который оказывает противоопухолевое и антимуtagenное действие. В наших предыдущих исследованиях применение комбинации двух хроматографических методов, ГХ-МС и УЭЖХ-МС, позволило идентифицировать в цветках календулы лекарственной один агликон – β -амирин, который является предшественником на пути синтеза олеаноловой кислоты, и четыре календулозида – Е, F, G и H. Кроме того, были обнаружены

Таблица 7. Формы семян в соплодиях сортов *Calendula officinalis* L., 2013–2015 гг.

Table 7. Seed shapes in infructescences of *Calendula officinalis* L. cultivars, 2013–2015

Сорт / Cultivar	Формы семян / Seed shapes				Всего / Total
	Кольцевидные / Annular	Крючковидные / Hamate	Серповидные / Falcate	Ладьевидные / Navicular	
Контроль (Кальта) / Control (Kalta)	$\frac{1,6 \pm 0,54}{2,2}$	$\frac{17,3 \pm 1,50}{23,3}$	$\frac{29,7 \pm 2,11}{39,9}$	$\frac{25,8 \pm 2,15}{34,7}$	$\frac{74,4 \pm 6,33}{100}$
Золотое море / Zolotoe more	$\frac{10,4 \pm 0,87}{6,0}$	$\frac{152,3 \pm 13,44}{87,8}$	$\frac{6,67 \pm 0,57}{3,9}$	$\frac{4,1 \pm 0,31}{2,4}$	$\frac{173,5 \pm 15,56}{100}$
Райский сад / Rajskij sad	$\frac{8,1 \pm 0,61}{4,8}$	$\frac{144,3 \pm 13,02}{86,0}$	$\frac{11,2 \pm 1,01}{6,7}$	$\frac{3,8 \pm 0,25}{2,3}$	$\frac{167,4 \pm 14,62}{100}$

Примечание: числитель – штук; знаменатель – %. Выборка по 1000 штук семян

Note: the numerator shows seeds (pcs); the denominator shows %. Statistical sampling of 1000 seeds

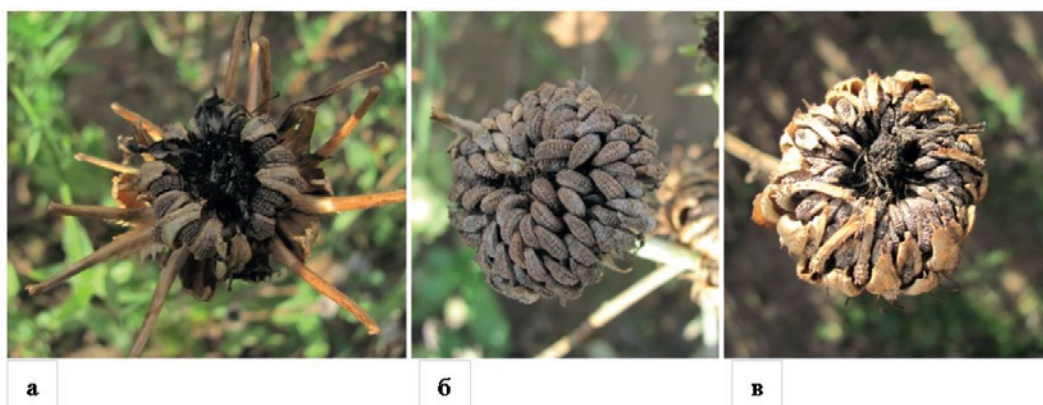


Рис. 6. Соплодия сортов растений *Calendula officinalis* L.:

а – контроль (сорт 'Кальта'); б – сорт 'Золотое море'; в – сорт 'Райский сад'

Fig. 6. Infructescences of *Calendula officinalis* L.: а – control (cv. 'Kalta'); б – cv. 'Zolotoe more'; в – cv. 'Rajskij sad'

Таблица 8. Урожайность и посевные качества семян сортов *Calendula officinalis* L., 2013–2015 гг.

Table 8. Seed yield and seed quality of *Calendula officinalis* L. cultivars, 2013–2015

Сорт / Cultivar	Урожайность семян, кг/га / Seed yield, kg/ha	Масса 1000 семян, г / 1000 seed weight, g	Энергия прорастания, % / Germination energy, %	Всхожесть, % / Germination rate, %
Контроль (Кальта) / Control (Kalta)	602,3	14,78	53,8	85
Золотое море / Zolotoe more	899,7	6,89	57,8	95
Райский сад / Rajskij sad	891,5	7,09	57,7	95
НСР ₀₅	68,97	1,180	–	–

два тритерпеноида, которые предварительно идентифицированы как гликозиды олеаноловой кислоты. Различий в содержании тритерпеноидов в цветках исследованных сортов календулы лекарственной 'Кальта', 'Золотое море' и 'Райский сад' не установлено (Osipov et al., 2018).

Качество сырья ноготков лекарственных регламентируется ФС.2.5.0030.15 «Ноготков лекарственных цветки» по сумме флавоноидов в пересчете на рутин, содержание которых должно быть не менее 1%; экстрактивных веществ – не менее 35% (State Pharmacopoeia..., 2018). Содержание экстрактивных веществ и флавоноидов в образцах ноготков лекарственных приведено в таблице 9.

стебля и по высоте). В популяциях мутантных поколений M_1 возросла (с 39–40% до 51–64%) степень изменчивости по количественным признакам («высота растения», «число рядов язычковых цветков», «масса и число соцветий»), но в поколении M_3 этот показатель снизился (до 7–24%), что указывает на стабилизацию проявления признаков в мутантных поколениях. Среди мутировавших образцов выделены морфотипы с разной окраской трубчатых цветков: с коричневой окраской – после обработки ДМС_{0,08%} с оранжевой окраской – после обработки мутагеном ДЭС_{0,05%}. В результате многолетней селекционной работы (2009–2016 гг.) на основе мутантных поколений (M_2 – M_3) созданы сорта 'Золотое море' и 'Райский сад', которые превосходят контроль (сорт 'Кальта') по

Таблица 9. Содержание экстрактивных веществ и флавоноидов в сырье сортов *Calendula officinalis* L., 2013–2015 гг.

Table 9. Total extractives and flavonoids in raw materials of *Calendula officinalis* L. cultivars, 2013–2015

Сорт / Cultivars	Содержание экстрактивных веществ, % / Total extractives, %	Содержание суммы флавоноидов, % / Total flavonoids, %
Контроль (сорт Кальта) / Control (cv. Kalta)	44,76 ± 3,847	1,57 ± 0,081
Золотое море / Zolotoe more	50,96 ± 4,568	2,04 ± 0,108
Райский сад / Rajskij sad	54,29 ± 5,012	2,25 ± 0,115

По данным таблицы 9, по содержанию экстрактивных веществ сорта 'Золотое море' и 'Райский сад' превосходят контроль на 13,8 и 21,3%, по содержанию суммы флавоноидов – на 29,9 и 43,3% соответственно.

Заключение

При обработке семян календулы лекарственной химическими мутагенами выявлено ингибирующее действие ДЭС_{0,04%}, ДМС_{0,04%} и ДМС_{0,06%} на лабораторную всхожесть семян; мутагенов НММ_{0,04%} и НММ_{0,02%} – на жизнеспособность и семенную продуктивность растений в условиях открытого грунта. Показано стимулирующее действие ДЭС_{0,05%} и ДМС_{0,08%} на жизнеспособность растений и продуктивность сырья в условиях открытого грунта. Обработка семян химическими мутагенами привела к аномалиям в строении соцветий, а также аномалиям роста и развития растений (по характеру ветвления

урожайности соцветий на 39 и 30%, по урожайности семян на 48 и 49%, по содержанию экстрактивных веществ на 13,8 и 21,3%, по содержанию суммы флавоноидов на 29,9 и 43,3%, «число рядов язычковых цветков в соцветии» больше в 2 раза, «масса соцветия» больше в 1,5 раза. Вследствие обработки химическими мутагенами в связи с повышением махровости соцветий доля фракции крючковидных семян в соплодии увеличилась с 23 до 86%, фракции кольцевых семян в 2 раза (указанные фракции семян наиболее пригодны для механизированного посева).

Работа выполнена в рамках НИР ФГБНУ ВИЛАР № 0576-2019-0007.

The work was carried out within the framework of VILAR's Research Project No. 0576-2019-0007.

Литература / References

- Basalaeva I.V., Boznyakova A.N., Burova A.E., Gryaznov M. Yu., Kostyanovsky R.G., Korotkikh I.N., Krutius O.N., Sidel'nikov N.I., Totskaya S.A., Shirokova A.V., Khazieva F.M. *Calendula officinalis* L. Cv. Zolotoe more (Sort Zolotoye more). Russian Federation; breeding achievement patent number: 7532; 2014. [in Russian] (Басалаева И.В., Бознякова А.Н., Бурова А.Е., Грязнов М.Ю., Костяновский Р.Г., Коротких И.Н., Крутиус О.Н., Сидельников Н.И., Тоцкая С.А., Широкова А.В., Хазиева Ф.М. *Calendula officinalis* L. Сорт Золотое море. Российская Федерация; патент на селекционное достижение № 7532; 2014).
- Butnariu M., Coradini C.Z. Evaluation of biologically active compounds from *Calendula officinalis* flowers using spectrophotometry. *Chemistry Central Journal*. 2012;6:35. DOI: 10.1186/1752-153X-6-35
- Chopra V.L. Mutagenesis Investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Current Science*. 2005;89(2):353-359.
- Długosz M., Wiktorowska E., Wiśniewska A., Pączkowski C. Production of oleanolic acid glycosides by hairy root established cultures of *Calendula officinalis* L. *Acta Biochimica Polonica*. 2013;60(3):467-473. DOI: 10.18388/abp.2013_2008
- Dryagina I.V., Potapov S.P., Ravkin A.S. Guidelines for the use of mutagenic factors in the breeding of vegetatively propagated horticultural plants (Metodicheskiye ukazaniya po ispolzovaniyu mutagennykh faktorov v selektsii sadovykh vegetativno-razmnozhayemykh rasteniy). Moscow: VASKhNIL; 1979. [in Russian] (Дрягина И.В., Потапов С.П., Равкин А. С. Методические указания по использованию мутагенных факторов в селекции садовых вегетативно-размножаемых растений. Москва: ВАСХНИЛ; 1979).
- El-Nashar Y.I., Asrar A.A. Phenotypic and biochemical profile changes in *calendula* (*Calendula officinalis* L.) plants treated with two chemical mutagenesis. *Genetics and Molecular Research*. 2016;15(2):27173326. DOI: 10.4238/gmr.15028071
- Gryaznov M.Yu., Samatadze T.E., Svistunova N.Yu., Tsitsilin A.N., Khazieva F.M. *Calendula officinalis* L. Cv. Rajskey sad (Sort Rayskiy sad). Russian Federation; breeding achievement patent number: 8651; 2016. [in Russian] (Грязнов М.Ю., Саматадзе Т.Е., Свистунова Н.Ю., Цицилин А.Н., Хазиева Ф.М. *Calendula officinalis* L. Сорт Райский сад. Российская Федерация; патент на селекционное достижение № 8651; 2016).
- Ismagilov R.R., Kostylev D.A. *Calendula* (Kalendula). Ufa: BSAU; 2000. [in Russian] (Исмагилов Р.Р., Костылев Д.А. Календула. Уфа: БГАУ; 2000).
- Kishimoto S., Maoka T., Sumimoto K., Ohmiya A. Analysis of carotenoid composition in petals of *calendula* (*Calendula officinalis* L.). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2005;69(11):2122-2128. DOI: 10.1271/bbb.69.2122
- Kostylev D.A., Ismagilov R.R., Timofeeva O.V. Seed material of *Calendula officinalis* in the Cis-Urals (Semennoy material kalenduly lekarstvennoy v Preduralye). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011;1(80):9-10. [in Russian] (Костылев Д.А. Исмагилов Р.Р., Тимофеева О.В. Семенной материал календулы лекарственной в Предуралье. *Аграрный вестник Урала*. 2011;1(80):9-10).
- Kudina G.A. Chemical mutagens in flower-ornamental plant selection. *Promyshlennaya botanika = Industrial Botany*. 2006;(6):116-120. [in Russian] (Кудина Г.А. Химические мутагены в селекции цветочно-декоративных культур. *Промышленная ботаника*. 2006;(6):116-120).
- Methods of trials for distinctness, uniformity, and stability RTG/1006/1. Common marigold (*Calendula officinalis* L.) (Metodika ispytaniy na otlichimost, odnorodnost, stabilnost RTG/1006/1. Nogotki lekarstvennyye [*Calendula officinalis* L.]). In: *Official Bulletin of the State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements*. 12-06/32 (*Ofitsialnyy byulleten Gosudarstvennoy komissii GK RF po ispytaniyu i okhrane selektsionnykh dostizheniy*. 12-06/32). Moscow; 1999. p.206-210. [in Russian] (Методика испытаний на отличимость, однородность, стабильность RTG/1006/1. Ноготки лекарственные (*Calendula officinalis* L.). В кн.: *Официальный бюллетень Государственной комиссии ГК РФ по испытанию и охране селекционных достижений*. 12-06/32. Москва; 1999. С.206-210).
- Osipov V.I., Bykov V.A., Haziyeva F.M., Sidel'nikov N.I. Triterpenoids of *Calendula officinalis* flowers. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2018;21(6):3-9. [in Russian] (Осипов В.И., Быков В.А., Хазиева Ф.М., Сидельников Н.И. Тритерпеноиды цветков календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.). *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2018;21(6):3-9). DOI: 10.29296/25877313-2018-06-01
- Pintea A., Bele C., Andrei S., Socaciu C. HPLC analysis of carotenoids in four varieties of *Calendula officinalis* L. flowers. *Acta Biologica Szegediensis*. 2003;47(1-4):37-40.
- Roychowdhury R., Tah J. Chemical mutagenic action on seed germination and related agro-metrical traits in M1 *Dianthus* generation. *Current Botany* 2011;2(8):19-23.
- State Pharmacopoeia of the Russian Federation (Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoj federatsii). XIV ed. 2018. [in Russian] (Государственная фармакопея РФ. XIV изд. 2018). URL: <http://femb.ru/feml> [дата обращения: 01.07.2020].
- Takhtajan A.L. Magnoliophyte system (Sistema magnoliophytov). Leningrad: Nauka; 1987. [In Russian] (Тахтаджян А.Л. Система магнолиофитов. Ленинград: Наука; 1987).
- Tatevosyan V.B. Characteristics of some mutants of *calendula* (Kharakteristika nekotorykh mutantov kalenduly). In: *Inter-university collection of scientific papers. Vol. 1. Biology (Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. T. 1. Biologiya)*. Erevan: Erevan University; 1979. p.12-19. [in Russian] (Татевосян В.Б. Характеристика некоторых мутантов календулы. В кн.: *Межвузовский сборник научных трудов. Т. 1. Биология*. Ереван: Ереванский университет; 1979. С.12-19).
- Vătavu R., Leonte C., Robu T., Pascal-Slabu C. Studies concerning the influence of some mutagen agents on the production of inflorescences at *Calendula officinalis* L. species. *Lucrări Științifice. Seria Agronomie = Scientific Papers. Agronomy Series*. 2008; 51(1):41-46). Available from: http://www.uaiasi.ro/regavagrois/PDF/2008_1_41.pdf [accessed on June 28, 2020].
- Zagumennikov V.B. Optimization of the cultivation of medicinal plants in the Non-Black Earth Zone of Russia (Optimizatsiya kultivirovaniya lekarstvennykh rasteniy v Nechernozemnoy zone Rossii). Moscow: VILAR; 2006. [in Russian] (Загуменников В.Б. Оптимизация культивирования лекарственных растений в Нечерноземной зоне России. Москва: ВИЛАР; 2006).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Хазиева Ф.М., Коротких И.Н. Аспекты применения метода химического мутагенеза при создании сортов *Calendula officinalis* L. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):110-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-110-122

Khazieva F.M., Korotkikh I.N. Aspects of applying the method of chemical mutagenesis to develop cultivars of *Calendula officinalis* L. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):110-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-110-122

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-110-122>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Khazieva F.M. <https://orcid.org/0000-0003-4454-0773>

Korotkikh I.N. <https://orcid.org/0000-0002-0954-9353>

Создание крупноплодных сортов черемухи на основе дикорастущих видов для северных и восточных регионов России

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-123-130



УДК 631.527:634.24

Поступление/Received: 26.03.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

В. С. СИМАГИН, А. В. ЛОКТЕВА*

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
630090 Россия, г. Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 101

* lokteva30@mail.ru

Development of large-fruited bird cherry
cultivars on the basis of wild species for
northern and eastern regions of Russia

V. S. SIMAGIN, A. V. LOKTEVA*

Central Siberian Botanical Garden,
Siberian Branch of the RAS,
101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia

* lokteva30@mail.ru

Черемуха занимает особое место среди косточковых плодовых растений. Ее плоды при сборах в природе издавна широко использовались местным населением на территориях с суровыми климатическими условиями. Для использования в промышленном и любительском садоводстве необходимо создание приспособленных к таким условиям высокопродуктивных сортов со стабильной плодовитостью и более крупными плодами. Проведены скрещивания наиболее крупноплодных генотипов *Prunus padus* L. и *P. virginiana* L., выделенных при изучении разнообразия этих видов и их межвидовых гибридов. Выделен ряд гибридов, заметно превосходящих по массе плода обоих родителей. При скрещивании наиболее крупноплодных сортов 'Памяти Саламатова' и 'Черный блеск' с крупноплодными образцами черемухи кистевой от Бондарева № 11-2-64, № 11-2-70, № 11-2-76 и черемухой виргинской № 10-5-2 и № 1-14-1 образуется значительное количество гибридов с массой плода, превышающей более крупноплодного родителя на 20–50%, что объясняется полигенным наследованием признака «масса плода». Наиболее крупноплодные гибриды имеют среднюю массу плода 1,4–1,5 г и максимальную массу 1,8–1,9 г. Многие из них сочетают крупные плоды с хорошим качеством и высокой плодовитостью. Приводится краткая характеристика признаков плода нескольких гибридов. Высказаны предположения о перспективах дальнейшей селекции на крупноплодность на основе тех же генетических источников и перспективах привлечения в гибридизацию других источников крупноплодности. Таким образом, предварительный отбор лучших по крупноплодности генотипов в природе и в интродуцированных популяциях с последующим скрещиванием их между собой внутри видов и с другими видами позволяет получать генотипы, превосходящие в несколько раз среднепопуляционные значения массы плода и значительно превосходящие характеристики родительских форм, и создать хорошо приспособленные к местным условиям сорта черемухи для любительского и промышленного садоводства в различных климатических зонах нашей страны.

Ключевые слова: тетраплоиды, масса плода, генотипы, природные популяции, внутривидовое разнообразие.

Bird cherry occupies a special place among stone fruit plants. Its fruits, collected in nature, were widely used by local communities, native to regions with severe climate. Development of new bird cherry cultivars, well adapted to such environments, with stable productivity and larger fruit, is a necessity.

Crossings were performed involving the most large-fruited genotypes of *Prunus padus* L. and *P. virginiana* L., selected during the study of their intraspecific variability and interspecific hybrids. A number of hybrids were identified for their considerably higher fruit weight than that of both parents. Crossing the most large-fruited hybrid cultivars 'Pamyati Salamatova' and 'Cherny blesk' with large-fruited *P. padus* samples from Bondarev No. 11-2-64, No. 11-2-70, No. 11-2-76, and *P. virginiana* samples No. 1-14-1 and No. 10-5-2, produced many hybrids with a fruit weight gain of 20–50% over the parent with the largest fruit. It can be explained by the polygenic nature of fruit weight inheritance. The samples with the largest fruits had an average fruit weight of 1.4–1.5 g and maximum weight of 1.8–1.9 g. Many of them combined large fruit size with good quality and high productivity. Brief descriptions of fruit traits are presented for several hybrids. Suppositions are made about the prospects of further breeding for the large fruit trait on the basis of the same genetic sources or with the use of other sources of large fruit size in hybridization.

Thus, preliminary selection of the best genotypes in nature and in introduced populations, followed by their crossing within their own species and with other species, makes it possible to produce genotypes with larger fruits than the average fruit size for a population and considerably larger than in their parents. It would help to develop bird cherry cultivars, well adapted to local conditions, for amateur and industrial horticulture under different climate conditions of Russia.

Key words: tetraploids, fruit weight, genotypes, natural populations, intraspecific variability.

Введение

Черемуха – численно небольшой подрод в системе рода Слива (*Prunus* L.). По различным источникам, в него входят от 4 до примерно 20 видов, большинство из которых произрастает на территории Китая и Юго-Восточной Азии, коллекции живых растений из которой, как и обширные гербарные сборы, в России в основном отсутствуют. Не вызывает сомнения видовой статус черемухи кистевой (обыкновенной) – *P. padus* L., произрастающей на севере Евразии, черемухи айнской (сьори) – *P. ssiori* F. Schmidt, произрастающей на юге Сахалина, Южных Курилах и в Японии, североамериканской черемухи виргинской – *P. virginiana* L., черемухи поздней *P. serotina* Ehrh., произрастающей в Центральной Америке и прилегающих районах Северной и Южной Америки. Для последнего вида известно, что существуют специально выращиваемые абортгенными крупноплодные формы. Все виды подрода – тетраплоиды (Eremin, 1985, 2008; Rehder, 1927).

По данным исследований биохимического состава плодов черемухи кистевой, виргинской и их гибридов, проведенных в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (ЦСБС СО РАН) (Simagin et al., 2003), в свежих плодах содержится около 20–30% сухих веществ, большую часть которых составляют сахара, значительное количество Р-активных соединений, а также пектинов и протопектинов, мало органических кислот и витамина С. Поэтому, хотя плоды черемухи и не являются явным источником витаминов и каких-либо биологически активных веществ, они имеют свое значение в обеспечении здоровым, всесторонне сбалансированным питанием населения северных и восточных регионов России.

Между большинством видов косточковых известны спонтанные или полученные в результате направленных скрещиваний гибриды. В то же время гибриды черемух с представителями других генетических групп (подродов) достоверно не известны. Наши многолетние эксперименты также показали невозможность получения таких гибридов через систему скрещиваний (Eremin, Simagin, 1986). Поэтому улучшение полезных характеристик плодов черемухи следует проводить путем внутривидового отбора лучших генотипов и скрещивания их между собой или с лучшими представителями других видов подрода. В связи с разным уровнем требований этих видов к условиям окружающей среды, для практического использования каждого из них существуют оптимальные зоны выращивания.

Материалы и методы

Исследования проведены на коллекции лаборатории интродукции пищевых растений ЦСБС СО РАН. Скрещивания проводили по обычной для перекрестно опыляемых культур методике. Изоляторы устанавливали на соцветия в рыхлых бутонах. Пыльца выделялась из рыхлых бутонов на пластиковом сите с ячейкой 1 мм на плотную бумагу. После 12-часового подсушивания пыльцу пересыпали в пакеты из плотной оберточной бумаги и хранили в пластиковом защелкивающемся эксикаторе над силикагелем. Пыльцу наносили на рыльце пестика цветка мягкой губчатой резиной, закрепленной на кончике колочки гледичии. Скрещивания проводились без кастрации цветков. Описание качества плодов и выделение перспективных селекционных форм проводились на

2-3-й год плодоношения согласно общепринятым методикам (Sedov, 1995; Sedov, Ogoltsova, 1999).

Результаты и обсуждение

Так как все виды черемухи очень слабо вовлекались в селекционные программы или практическую селекцию на территориях своего природного ареала, первоочередной задачей является изучение внутривидового разнообразия для определения средних характеристик и диапазонов изменчивости, важных для селекционного использования признаков. Для получения основополагающей информации необходимо проведение в природе популяционных исследований местных видов или изучение разнообразия больших групп интродуцированных сеянцев. Это позволяет сравнивать конкретное значение признака каждого генотипа со среднепопуляционными (среднегрупповыми) показателями и определить место каждого генотипа в системе группы (вида), а следовательно и перспективность его использования для селекционных программ любого направления.

Например, для такого полигенно контролируемого признака, как масса плода, в изученных нами двух популяциях черемухи кистевой (*P. padus*) на Алтае и одной в Новосибирской области (Lokteva, 2009; Simagin, Lokteva, 2010) диапазон изменчивости был от 0,2 до 0,7 г при величине выборки свыше 250 растений в каждой, причем наиболее часто всегда встречались особи с массой плода от 0,3 до 0,4 г. Близкие результаты были получены нами (Simagin, Eremin, 1999) при обследовании коллекций растений этого вида ЦСБС СО РАН в Новосибирске и на Крымской опытно-селекционной станции ВИР (КОСС ВИР, г. Крымск). Следовательно, крупноплодными можно считать генотипы с массой плода 0,7 г и более. Тогда как для имевшихся в коллекции ЦСБС более 200 сеянцев черемухи виргинской разного происхождения диапазон изменчивости по массе плода был от 0,3 до 0,9 г, а наиболее многочисленной была группа от 0,5 до 0,6 г. Поэтому нужно ожидать, что для наиболее крупноплодных растений этого вида возможна значительно большая масса плода, чем для черемухи кистевой.

Полигенность наследования массы плода, известная из многих источников, хорошо подтвердилась при изучении природного семенного потомства крупноплодного (1,0–1,1 г) образца черемухи кистевой (Крупная от Бондарева) из Иркутской области. Среди более 80 сеянцев от свободного опыления в природе диапазон разнообразия по этому признаку был от 0,5 до 0,9 г. Использование этого генотипа (Крупная от Бондарева) и его наиболее крупноплодных сеянцев при скрещивании с наиболее крупноплодными растениями черемухи виргинской и ее межвидовыми гибридами позволило получить новые генотипы, превосходящие по массе плода обоих родителей (таблица). В проведенных же ранее скрещиваниях и посеве семян от свободного опыления наиболее крупноплодных сортов и сеянцев черемухи кистевой и ее гибридов с черемухой виргинской из нашей коллекции (всего свыше 2000 растений) не удалось получить ни одного сеянца с массой плода на уровне наиболее крупноплодного сорта 'Памяти Саламатова' (Simagin, 2000; Lokteva, 2009).

Каждый из видов имеет ряд характерных биологических особенностей. Так, черемуха кистевая наиболее вынослива к зимним холодам, зацветает намного раньше остальных видов, хорошо произрастает в местообитаниях с повышенной влажностью воздуха и почвы.

Таблица. Краткая характеристика перспективных селекционных форм черемухи
Table. Brief descriptions of promising bird cherry forms improved by breeding

Номер образца	Происхождение	Вкус, балл	Окраска плода	Масса плода		Соотношение косточки и мякоти %	Плодовитость
				средняя	Максимальная		
14-1-62	Плотнокистная × ч.к. № 11-2-64	4,6	черная	1,37	1,60	14,0	хорошая
14-1-1	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. от Бондарева	4,3	темно-бордовая	1,54	1,80	20,0	средняя
14-7-14	Поздняя радость × 9-17-37	5,0	темно-бордовая	1,01	1,20	1,00	очень высокая
14-2-34	Ч.в. № 10-5-2 × Самоплодная	4,5	темно-бордовая	1,13	1,35	10,0	высокая
14-1-20	Ч.в. № 10-5-2 × от Бондарева	4,6	почти черная	1,19	1,50	16,0	высокая
13-8-35	Ч.в. № 1-14-1 × ч.к. № 11-2-64	4,6	черная	1,20	1,35	10,8	хорошая
13-8-66	Ч.в. № 1-14-1 × ч.к. № 11-2-64	4,3	черная	1,18	1,80	13,6	средняя
13-4-56	Ч.в. № 1-11-2 × ч.к. № 11-2-64	4,3	черная	1,30	1,40	12,3	высокая
13-8-55	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. № 11-2-64	4,8	черная	1,13	1,40	13,0	хорошая
13-5-71	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. от Бондарева	4,7	черная	1,23	1,50	12,1	высокая
13-5-72	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. от Бондарева	4,5	черная	1,17	1,40	13,0	средняя
13-5-74	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. от Бондарева	4,2	черная	1,33	1,60	11,8	хорошая
13-5-81	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. от Бондарева	4,5	темно-бордовая	1,14	1,30	11,4	хорошая
13-5-89	Ч.в. № 10-5-2 × ч.к. от Бондарева	4,6	черная	1,15	1,50	12,2	хорошая
13-4-89	Черный блеск × ч.к. от Бондарева	4,3	черная	1,21	1,40	11,6	средняя
13-4-91	Черный блеск × ч.к. от Бондарева	4,6	черная	1,29	1,50	9,3	высокая
13-4-94	Черный блеск × ч.к. от Бондарева	4,8	черная	1,21	1,50	10,7	хорошая
13-4-83	Памяти Саламатова × ч.к. от Бондарева	4,5	черная	1,21	1,40	11,6	высокая
13-7-30	Памяти Саламатова × ч.к. от Бондарева	4,5	черная	1,18	1,40	11,0	хорошая
13-7-35	Памяти Саламатова × ч.к. от Бондарева	4,6	черная	1,15	1,40	11,3	хорошая
13-7-38	Памяти Саламатова × ч.к. от Бондарева	4,5	черная	1,28	1,50	10,2	высокая

Примечание: ч.в. – черемуха виргинская (*Prunus virginiana* L.); ч.к. – черемуха кистевая (*P. radius* L.); от Бондарева – Крупная от Бондарева
Note: ч.в. – *Prunus virginiana* L.; ч.к. – *P. radius* L.; от Бондарева – Крупная от Bondareva

Преимущественно несамоплодна, из-за чего плодоносит нерегулярно как в природе, так и в посадках. Косточка у плодов довольно крупная, с толстыми ребристыми стенками, мякоть мягкая, быстро высыхающая. Основной способ использования плодов – сушка с последующим мелким размалыванием для кондитерских целей. Для выдающихся по качеству генотипов эффективное размножение производится зелеными черенками или прививкой.

Черемуха виргинская (*P. virginiana*) зацветает на 10–15 суток позже, способна хорошо произрастать в более сухих местообитаниях. В пределах вида часто встречаются самоплодные особи, поэтому плодоношение более регулярное и обильное. Ее плоды имеют более плотную мякоть и гладкую, более тонкостенную косточку. Такие плоды, кроме сушки, можно использовать для компотов и другой переработки. Для выдающихся генотипов основным способом размножения является отделение поросли, так как зеленые черенки укореняются обычно плохо, а привитые растения обычно недолговечны. Поэтому, даже при наличии высокопродуктивных генотипов с плодами хорошего качества, в России до сих пор не зарегистрировано ни одного сорта этого вида.

Черемуха поздняя (*P. serotina*) малозимостойка, поэтому успешно выращиваться может только в Центральной и Южной России, однако во многих местах возможного ареала выращивания периодически повреждается зимой. На родине вид успешно выращивается в качестве плодового растения с массой плода более 2 г (Eremin, 1985). Интродуцированные экземпляры в России обычно имеют плоды массой около 1 г. Вид представляет интерес очень поздними сроками начала вегетации и цветения, потенциальной крупноплодностью, а также большим количеством цветков в кистях. При расширении объема изучения семян разного происхождения, возможно, удастся выделить генотипы с массой плода на 30–50% больше и удельно зимостойкостью в этой зоне. Возможно, удастся получить и более зимостойкие ее гибриды со сходной массой плода при скрещиваниях с лучшими образцами черемухи кистевой и ч. виргинской. По нашим данным, такие гибриды вполне возможны.

Черемуха айнская, или съори (*P. ssiori*), произрастает в местообитаниях с очень высокой влажностью воздуха, влажной, хорошо дренированной почвой; температурные условия там довольно ровные, без заметных морозов и летнего тепла. Поэтому все попытки интродукции в более континентальные условия европейской России, не говоря уже о Сибири, были малоуспешными. Вид имеет ряд отличительных морфологических признаков: очень крупные листья с крупными пильчато-реснитчатыми зубчиками, тонкая пластинка листа, длинные многоцветковые соцветия (90–100 цветков и более). Этот вид представляет селекционный интерес относительно поздним зацветанием, довольно крупными плодами (обычно около 1 г). Известен высокоплодовитый гибрид этого вида с черемухой виргинской ('Новость Чемала'), полученный М. Н. Матюниным, удовлетворительно зимостойкий на Алтае (рис. 1). Перспектива его использования связана со скрещиваниями с лучшими образцами черемухи кистевой и виргинской и их гибридами, приводящими к получению достаточно зимостойких гибридов с плодами приличной величины, которые смогут выращиваться в различных регионах России.

Для регионов с комплексом суровых условий – непродолжительное лето с невысокими средними температурами, длительный холодный период с отрицательными температурами периодически ниже -30°C и резкими колебаниями влажности воздуха – относительно успешно могут выращиваться только черемуха кистевая и ч. виргинская или их гибриды.

Как показала практика выращивания представителей исходных видов и их гибридов в ЦСБС СО РАН, именно гибриды обладают рядом преимуществ, оригинально сочетая свойства и признаки родителей. Гибриды F1 по приспособленности к сибирскому климату близки к черемухе кистевой, имеют габитус небольшого дерева и более плотные многоцветковые кисти, зацветают в промежуточные сроки по сравнению с исходными видами и поэтому плодоносят более регулярно, имеют более плотную мякоть плодов, легко размножаются вегетативно. При скрещивании гибридов первого поколения между собой получается потомство с большим разнообразием как морфологических признаков, так и всех упомянутых выше полезных качеств. При по-



Рис. 1. Черемуха виргинская × ч. съори ('Новость Чемала')

Fig. 1. *Prunus virginiana* × *P. ssiori* ('Novost Chemala')

вторных скрещиваниях с одним из родительских видов происходит естественное усиление свойств и признаков этого родителя.

При скрещивании наиболее крупноплодных образцов черемухи виргинской, а также гибридных сортов

‘Памяти Саламатова’ и ‘Черный блеск’ с Крупной от Бондарева и ее самыми крупноплодными сеянцами № 11-2-64, № 11-2-70 и № 11-2-76 в селекционных семьях до 20–30% сеянцев превышали по средней массе плода наиболее крупноплодного родителя (рис. 2–7).



Рис. 2. Черемуха гибридная, сорт ‘Памяти Саламатова’

Fig. 2. Hybrid bird cherry cultivar ‘Pamyati Salamatova’



Рис. 3. Черемуха гибридная, сорт ‘Черный блеск’

Fig. 3. Hybrid bird cherry cultivar ‘Cherny blesk’



Рис. 4. Черемуха гибридная № 14-1-62 (Плотнокистная × № 11-2-64)

Fig. 4. Hybrid bird cherry No. 14-1-62 (Plotnokistnaya × No. 11-2-64)



Рис. 5. Гибридный сеянец черемухи № 14-1-1
(черемуха виргинская № 10-5-2 × ч. кистевая Крупная от Бондарева)

Fig. 5. Hybrid bird cherry seedling No. 14-1-1
(*Prunus virginiana* No. 10-5-2 × *P. padus* Krupnaya ot Bondareva)



Рис. 6. Гибридный сеянец черемухи № 14-16-36

Fig. 6. Hybrid bird cherry seedling No. 14-16-36



Рис. 7. Черемуха виргинская № 10-5-2

Fig. 7. *Prunus virginiana* L. No. 10-5-2

Зафиксировано значительное количество сеянцев со средней массой плодов от 1,2 до 1,3 г, два сеянца с массой 1,4 г и один – 1,5 г. Максимальная масса плода у этих генотипов доходила до 1,8 г. Характеристика наиболее перспективных, по мнению авторов, генотипов для использования в пищевых целях представлена в таблице.

Заключение

Таким образом, увеличение числа гомозиготных рецессивных аллелей при скрещивании самых крупноплодных родителей этих видов может заметно увеличить массу плода их потомства. Ожидается, что скрещивание самых крупноплодных гибридов из этой серии сможет еще увеличить массу плода на 0,2–0,3 г. Для дальнейшего увеличения этого признака следует вводить новые генетические источники, в первую очередь по черемухе виргинской. Возможно также привлечение в селекцию сорта 'Новость Чемала' с наследственностью черемухи айнской.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ЦСБС СО РАН, проект Vi.52.1.2. Анализ внутривидовой структуры ресурсных растений Азиатской России, отбор и сохранение генофонда. При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

The work was implemented within the framework of the State Task according to the theme plan of the Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Project Vi.52.1.2. Analysis of the intraspecific structure in resource plants of the Asian Russia, selection and conservation of genetic diversity. The publication was prepared on the materials from the Bioresource Scientific Collection of the Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, "Collections of live plants in open and protected grounds", No. USU-440534.

Reference / Литература

- Eremin G.V. Remote hybridization of stone fruit plants (Otdalennaya gibridizatsiya kostochkovykh plodovykh rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Еремин Г.В. Отдаленная гибридизация косточковых плодовых растений. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Eremin G.V. Systematization of stone fruit plants (Sistematika kostochkovykh plodovykh rasteniy). In : *Pomology: In 5 volumes. Vol. 3. Stone fruit crops (Pomologiya v 5-ti tomakh. T. 3. Kostochkovye kultury)*. Orel; 2008. p.15-20 [in Russian] (Еремин Г.В. Систематика косточковых плодовых растений. В кн.: *Помология в 5-ти томах. Т. 3. Косточковые культуры*. Орел; 2008. С.15-20).
- Eremin G.V., Simagin V.S. Research into the systematic position of *Prunus maackii* Rupr. in the context of its use in breeding (Issledovaniye sistematicheskogo polozheniya cheremukhi Maaka (*Prunus maackii* Rupr.) v svyazi s ee selektsionnym ispolzovaniyem). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry*. 1986;166:44-49. [in Russian] (Еремин Г.В., Симагин В.С. Исследование систематического положения черемухи Маака (*Prunus maackii* Rupr.) в связи с ее селекционным использованием. *Научно-технический бюллетень ВНИИР им. Н.И. Вавилова*. 1986;166:44-49).
- 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 kistevoy na yuge Zapadnoy Sibiri kak istochnik form dlya introduktcii i analiticheskoy selektsii) [dissertation]. Novosibirsk; 2009. [in Russian] (Локтева А.В. Полиморфизм чере-

- мухи кистевой на юге Западной Сибири как источник форм для интродукции и аналитической селекции: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск; 2009).
- Rehder A. Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America: exclusive of the subtropical and warmer temperate regions. New York: Macmillan; 1927.
- Sedov E.N. (ed.). The program and methods for fruit, berry and nut crop breeding (Programma i metodika selektsii plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPК; 1995. [in Russian] (Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова). Орел: ВНИИСПК; 1995).
- 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: СО РАН; 2000).
- Simagin V.S., Eremin G.V. About the diversity of *Prunus padus* L. in Eurasia (O raznoobrazii cheremukhi kistevoy v Evrasii). *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., Kukushkina T.A., Shevtsova I.V. Chemical composition in fruit of species and interspecific hybrids of bird cherry (Khimicheskiy sostav plodov vidov i mezhvidovykh gibridov cheremukhi). In: *New and nontraditional plants and prospects of their utilization (Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispolzovaniya)*. Proceedings of the X International Symposium, June 17–23, 2003, Pushchino. Vol. 3. Pushchino; 2003. p.154-162. [in Russian] (Симагин В.С., Кукушкина Т.А., Шевцова И.В. Химический состав плодов видов и межвидовых гибридов черемухи. В кн.: *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. Материалы X международного симпозиума, 17–23 июня 2003 года, Пущино. Т. 3*. Пущино; 2003. С.154-162).
- Simagin V.S., Lokteva A.V. Morphological variation in flowers and fruits of European bird cherry in right-bank forest-steppe areas near the river Ob. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2010;6(210):42-49. [in Russian] (Симагин В.С., Локтева А.В. Морфологическая изменчивость цветков и плодов черемухи кистевой в правобережной лесостепи Приобья. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2010;6(210):42-49).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

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

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. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-123-130

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-123-130>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

Эколого-географическое изучение маша (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) из коллекции ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-131-141

УДК 635.654.1:631.524.022:57.087.1

Поступление/Received: 28.11.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



Ecogeographic assessment of mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) from the collection of the Vavilov Institute (VIR)

М. О. БУРЛЯЕВА^{1*}, М. В. ГУРКИНА¹,
М. Г. САМСОНОВА², М. А. ВИШНЯКОВА¹

М. О. BURLYAEVA^{1*}, M. V. GURKINA¹,
M. G. SAMSONOVA², M. A. VISHNYAKOVA¹

¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* ✉ m.burlyaeva@vir.nw.ru

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* ✉ m.burlyaeva@vir.nw.ru

² Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
195251 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
✉ m.g.samsonova@gmail.com

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Polytekhnikeskaya Street,
St. Petersburg 195251, Russia
✉ m.g.samsonova@gmail.com

Актуальность. Маш (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) – нетрадиционная для Российской Федерации (РФ) культура, основные районы возделывания которой находятся в субтропическом поясе земного шара. Однако положительный опыт выращивания маша в ряде регионов юга Европейской части и Дальнего Востока РФ делает актуальным поиск исходного материала в мировой коллекции ВИР для селекции сортов, адаптированных к этим условиям.

Материалы и методы. Осуществлен сравнительный анализ данных полевого фенотипирования 76 староместных образцов маша из коллекции ВИР в Узбекистане в 1949–1956 гг. и в Астраханской обл. РФ в 2009, 2018, 2019 г. Оценка изменчивости и взаимосвязей фенологических и хозяйственно ценных признаков проведена с помощью методов статистики.

Результаты и обсуждение. Выявлена сильная изменчивость всех изученных признаков и их зависимость от генотипа и среды в обоих регионах исследования. По многолетним данным установлены различия по продолжительности межфазных периодов и вегетативного периода в целом, по семенной продуктивности, высоте растений и массе 1000 семян в двух пунктах. Выявлены значительные различия по силе и структуре корреляций между изученными признаками. В Астраханской области (Россия) и в неблагоприятных для культуры условиях в Ташкентской области (Узбекистан) уровень скоррелированности большинства признаков был выше. Поэтому повышение силы связей между признаками можно рассматривать как показатель (индикатор) неблагоприятных условий произрастания. Наиболее толерантными к изменению условий среды оказались генотипы с короткими периодами «всходы – цветение» и «всходы – созревание». Именно эти признаки прежде всего следует придавать сортам маша при продвижении его производства к северу от традиционного ареала.

Ключевые слова: влияние погодно-климатических условий, продуктивность, фенология, изменчивость, корреляции.

Background. Mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) is a nontraditional crop for Russia. The crop's main areas of cultivation are situated in the subtropical zone of the planet. However, positive experience with mung bean cultivation in a number of regions – the South of the European part and the Far East of Russia – implies the expediency of a search for source materials suitable for the development of cultivars adapted to these conditions.

Materials and methods. The results of the field phenotyping of 76 mung bean landraces from VIR have been analyzed. The experiments were performed in 1949–1956 in Uzbekistan (former Central Asian Branch of VIR), and in 2009, 2018 and 2019 in Astrakhan Province, where VIR's collection had been reproduced from the early 1990s. The data on the variability of phenological and agronomic characters and their relationships were compared for both areas and analyzed using the methods of multidimensional statistics.

Results and discussion. A strong variability of all studied characters and their dependence on the environment were observed in both locations. According to the averaged long-term data, differences were found in the duration of interphase periods and the entire growing season, seed yield, plant height, and 1000 seed weight in both sites. Significant differences were shown in the strength of correlations between the studied characters. In Astrakhan Province and in the years with less favorable conditions in Uzbekistan, the level of correlations between most traits was higher. Therefore, an increase in the strength of the relationships between crop characters may be regarded as an indicator of unfavorable growing conditions. The genotypes with short periods from sprouting to flowering and from sprouting to maturation were the most resistant to environmental changes. It is these traits that should first of all be transferred to mung bean cultivars when promoting its production to the north, beyond its traditional area.

Key words: impact of weather and climate, productivity, phenology, variability, correlation.

Введение

Маш (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) – зернобобовая культура многоцелевого использования (продовольственного, кормового, овощного, сидерационного), растение теплого климата и короткого дня. Семена и проростки маша – ценный источник белка и большого количества важнейших микронутриентов (Nair et al., 2013). Вид имеет значительную агрономическую ценность, особенно в маргинальных районах растениеводства, так как хорошо адаптирован к экстремальным условиям среды, в частности к засухе (Pataczek et al., 2018).

Основные районы возделывания маша – весь субтропический пояс земного шара. В России маш выращивают на небольших площадях на юге Европейской части страны и Дальнего Востока (Vishnyakova et al., 2018). Однако ареал его возделывания может быть расширен за счет подбора и создания сортов, отличающихся адаптивностью и стабильной урожайностью. За последние тридцать лет маш из разряда культур, которые принято называть недооцененными, недоиспользованными, превратился в одну из восьми основных зернобобовых культур, наиболее широко возделываемых в мире. В настоящее время он занимает около 7,3 млн га (Nair, Schreinemachers, 2019), что обусловлено и расширением его производственного ареала, в том числе на север.

Меняющийся климат усложняет селекцию сортов всех сельскохозяйственных культур. При этом невысокое генетическое разнообразие, используемое в настоящее время в сельском хозяйстве, препятствует расширению продуктивного и адаптивного потенциала новых сортов. Поиск в мировом генофонде образцов со стабильными в разных условиях агрономическими признаками позволит ускорить селекционный процесс. Для этого важно выявление закономерностей изменчивости признаков, их связи и значимости их вклада в процесс формирования продуктивности растений в различных условиях среды. Лучшим материалом для изучения структуры взаимосвязей и варьирования признаков являются староместные образцы, отличающиеся высоким разнообразием по морфологическим, биологическим и хозяйственным характеристикам (Burlyaeva et al., 2019). Известно, что искусственный отбор (селекция) вызывает не только сокращение размаха внутрипопуляционной изменчивости у сортов культурных растений, но и снижение пластичности системы взаимосвязей (Rostova, 2002). Староместные образцы обладают более пластичной по сравнению с современными сортами структурой корреляций и, соответственно, более устойчивы к изменяющимся условиям произрастания.

В коллекции ВИР сохраняется 2519 образцов маша из всех стран, возделывающих эту культуру, в том числе из центров ее происхождения и доместикации – Центральной Азии и Индии. Большинство образцов в коллекции относятся к староместным сортам, собранным в прошлом веке, начиная с 1910 г. (Burlyaeva et al., 2019). Коллекцию систематически изучают в полевых условиях. В течение долгого времени (1930–1990 гг.) основным местом поддержания жизнеспособности и изучения коллекции был Среднеазиатский филиал ВИР (САФ ВИР, Узбекистан), а с 1992 г. основное место поддержания и изучения коллекции – Астраханская опытная станция – филиал ВИР (АОС ВИР).

Средняя Азия – район традиционного возделывания маша. По сути, этот регион был северной границей

возделывания культуры, основное производство которой долгие годы ограничивалось 40-й параллелью северной и южной широт со среднесуточными температурами во время вегетации не менее 20°C (Lawm, Ahn, 1985). Астраханская область находится за пределами исторически сложившегося производственного ареала культуры, будучи отдаленной от САФ ВИР на север по меридиану не менее чем на 800 км.

Целью данной статьи стал сравнительный анализ изменчивости варьирования и скоррелированности (детерминации) селекционно значимых признаков образцов маша из коллекции ВИР в традиционном районе возделывания культуры и за его границами, в более северном регионе, для выявления закономерностей, определяющих адаптацию образцов к разным климатическим условиям.

Материалы и методы

Исследовали 76 староместных образцов маша из коллекции ВИР, привезенных экспедициями ВИР из 17 стран в период с 1922 по 1946 г. Все образцы – с детерминантным типом роста.

Анализировали исторические данные изучения этих образцов, проведенного в 1949–1956 гг. в Узбекистане (Ташкентская обл.) на САФ ВИР (из оригинальных полевых журналов), и современные данные нашей оценки в 2009, 2018, 2019 г. в России (Астраханская обл.) на АОС ВИР.

Посев и изучение образцов (фенологические наблюдения и морфолого-биологические описания) проводили по общепринятым в ВИР методикам (Vishnyakova et al., 2018). Сеяли семена вручную во влажный, хорошо прогретый слой почвы, когда средняя дневная температура воздуха достигала 14–16°C. Ширина междурядий составляла 70 см, расстояние между семенами в ряду – 10 см, глубина заделки семян – 3–5 см. Образцы культивировали в условиях орошения: в течение вегетации проводили шесть поливов дождеванием нормой 250–300 м³/га на АОС и три полива на САФ ВИР.

Изучали наиболее значимые в селекции маша признаки: продолжительность межфазных периодов («посев – всходы», «всходы – цветение», «цветение – созревание») и вегетационного периода («всходы – созревание»), продуктивность семян с одного растения, массу 1000 семян, высоту растения. Признаки оценивали в соответствии с дескрипторами (Burlyaeva et al., 2016; Descriptors..., 1980).

Признаки анализировали с помощью описательных статистик (среднее, минимум, максимум, среднеквадратичное отклонение, стандартная ошибка среднего и др.), однофакторного дисперсионного анализа, корреляционного анализа (ранговые коэффициенты корреляции – Spearman Rank Order Correlations) (StatSoft..., 2013). Особенности варьирования хозяйственно-биологических признаков в разных условиях среды выявляли путем определения их детерминированности (средний коэффициент детерминации – R^2) и изменчивости (коэффициент вариации – CV). Этот подход позволяет выявить природу изменчивости признака, зависимость его варьирования от внешней среды или от специфики генотипа, определить признаки, наиболее сильно скоррелированные с другими или практически независимые от последних (Rostova, 2002). Средний коэффициент детерминации и коэффициент вариации определяли для каждого года изучения. Средний коэф-

коэффициент детерминации признака рассчитывали по матрице корреляций, используя формулу (1):

$$R^2 = (R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_n^2)/(n - 1); (1);$$

где n – число признаков (Rostova, 2002).

Достоверность влияния генотипа, погодных условий и места репродукций на исследованные признаки устанавливали, используя однофакторный дисперсионный анализ. Долю влияния фактора (η^2 , %) по Фишеру вычисляли по формуле (2) (Ivanter, Korosov, 2011):

$$\eta^2 = \frac{SS_{factor}}{SS_{total}} \times 100\%; (2);$$

где: η^2 , % – доля влияния фактора, SS_{factor} – факторная сумма квадратов отклонений, SS_{total} – общая сумма квадратов отклонений.

Сумма активных температур выше 15°C и количество осадков за время вегетации растений на АОС рассчитаны с использованием метеорологических данных сайта ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (RINMI-WDC..., 2014). Аналогичные показатели для САФ рассчитаны по данным Геоинформационной системы «Метео измерения онлайн» (ThermoKarelia.ru..., 2000-2020).

Результаты

В районе Ташкента на САФ (41°24' с. ш., 69°29' в. д.) климат субтропический, резко континентальный, засушливый, жаркий. Сумма активных температур выше 15°C в регионе достигает за год в среднем 4000°C, количество осадков – 380 мм. В районе АОС (46°07' с. ш., 41°01' в. д.) климат сухой и резко континентальный, по степени засушливости он уступает лишь среднеазиатским пустыням и полупустыням. Сумма активных температур выше 15°C в год в области достигает 3500–3600°C, количество осадков – 180–290 мм. Между многолетним опытом поддержания коллекции в пригородном районе Астрахани показал хороший потенциал продуктивности скороспелых и среднеспелых образцов маша (Burlyaeva et al., 2014).

Различия погодных условий в годы изучения в Узбекистане и в Астрахани отражают следующие показатели. Сумма положительных температур воздуха выше 15°C в период вегетации достигала 3288,4–3619,0°C на АОС и 3279,1–3978,7°C на САФ. Количество осадков за вегетационный период колебалось от 48,9 до 223,0 мм на АОС, от 90,7 до 334,6 мм на САФ. То есть температурный показатель был выше на 179,5°C в условиях Узбекистана, и количество осадков здесь также было выше в среднем на 63,5 мм, чем в Астрахани. Климат на САФ смягчен близостью гор, благодаря которым в этом районе и выпадает большее количество осадков, чем в пустынях и полупустынях на западе Узбекистана и в окрестностях Астрахани. Весна в Ташкентской области наступает раньше, температура воздуха выше 15°C наблюдается уже в марте; в Астраханской области переход температуры через 15°C фиксируется только в апреле.

В обоих пунктах исследования наблюдалась сильная изменчивость фенологических и хозяйственно ценных признаков и их зависимость от среды. Межсортовая изменчивость продолжительности вегетационного периода («всходы – созревание») варьировала от 55,0 до 142,0 сут.; средняя продуктивность семян с растения менялась от 0,0 (образцы не вызревали) до

57,5 г, масса 1000 семян – от 20,0 до 87,4 г, высота растения – от 31,2 до 140,0 см.

По усредненным данным, продолжительность вегетационного периода была меньше на САФ (91,5), чем на АОС (105,8) на 11,4 суток, периода «посев – всходы» – на 1,4 сут., периода «всходы – цветение» – на 3,0 сут., периода «цветение – созревание» – на 12,4 сут. (рис. 1, а–г). Продуктивность семян была выше на АОС (12,4 г), чем на САФ (7,5 г) (рис. 1, е). Высота растений на САФ была больше на 5,4 см по сравнению с АОС (рис. 1, ж). Масса 1000 семян была примерно одинаковой на обеих станциях (около 41,0–42,0 г) (рис. 1, д).

Однофакторный дисперсионный анализ выявил достоверное влияние места репродукции на изменчивость длительности периодов «цветение – созревание» (доля влияния – $\eta^2 = 21,0\%$) и «всходы – созревание» (10,3%), а также на продуктивность семян (6,1%) (табл. 1). От погодных условий зависели все изученные признаки: продолжительность периодов «посев – всходы» (63,3%), «всходы – цветение» (28,3%), «цветение – созревание» (23,7%), «всходы – созревание» (22,5%), продуктивность семян (19,8%), масса 1000 семян (9,1%). Причем сумма активных температур достоверно воздействовала на продолжительность всех периодов вегетации и продуктивность семян, а количество осадков – только на продолжительность периодов вегетации. Генотип достоверно влиял на варьирование продолжительности периодов «всходы – цветение» (49,4%), «всходы – созревание» (54,4%) и массы 1000 семян (47,0%). Таким образом, изменчивость периодов «всходы – цветение», «всходы – созревание», массы 1000 семян больше связана с индивидуальными особенностями образцов, меньше – с условиями возделывания. Высота растения не зависела ни от одного из изученных факторов.

Корреляционный анализ признаков, измеренных во все годы исследования (1949–1956 гг.) на САФ, выявил общие взаимосвязи между ними, характерные для всех генотипов при выращивании маша в Ташкентской области (рис. 2). Растения, прорастающие с большей скоростью, быстрее переходили к стадии цветения ($r = 0,5$). Продолжительность вегетационного периода была больше связана с периодом «всходы – цветение» ($r = 0,9$), меньше – с периодом «цветение – созревание» ($r = 0,7$). Длина периода «всходы – цветение» была взаимосвязана с периодом «цветение – созревание» ($r = 0,5$). Продуктивность семян положительно коррелировала с массой 1000 семян ($r = 0,6$) и отрицательно с периодом «цветение – созревание» ($r = -0,5$). Масса 1000 семян была отрицательно взаимосвязана с продолжительностью периода «цветение – созревание» ($r = -0,4$). Высота растения согласованно изменялась с длинами периодов «цветение – созревание» ($r = 0,7$) и «всходы – созревание» ($r = 0,5$).

В Астраханской области, в отличие от Ташкентской, длительность вегетации растений была одинаково связана как с длительностью периода «цветение – созревание» ($r = 0,7$), так и периода «всходы – цветение» ($r = 0,7$). Наблюдалась слабая отрицательная корреляция между продуктивностью и продолжительностью периода «всходы – цветение» ($r = -0,3$) и периода «всходы – созревание» ($r = -0,3$). Растения, быстрее достигавшие стадии цветения, отличались меньшей высотой ($r = 0,3$). Масса 1000 семян имела менее сильную отрицательную корреляцию с периодом «цветение – созревание» ($r = -0,3$). Взаимосвязи между высотой растения и продолжительностью периодов «цветение – созревание»

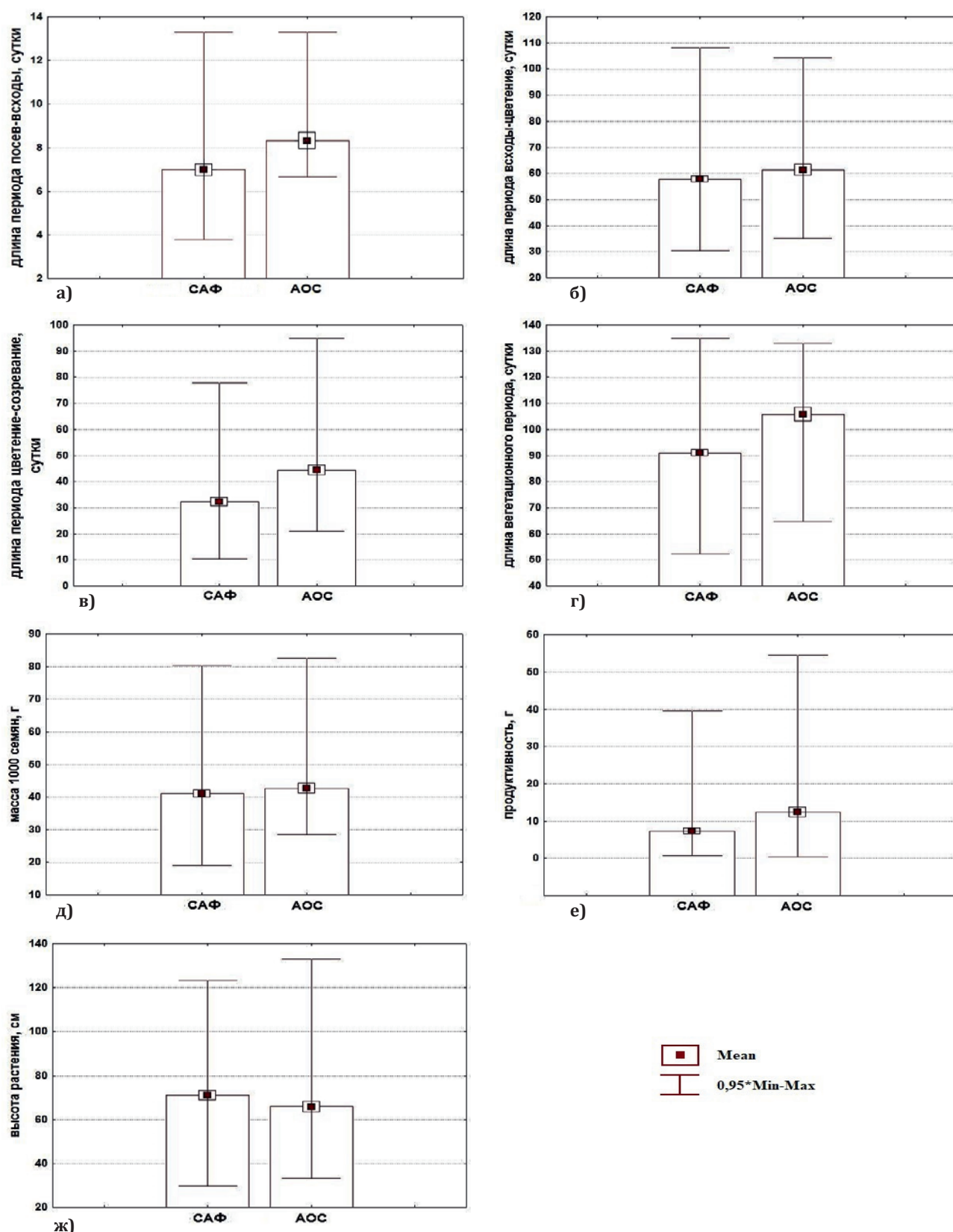


Рис. 1. Изменчивость фенологических и хозяйственно ценных признаков маша в разных эколого-географических условиях: а – продолжительность периода «посев – всходы», сут; б – «всходы – цветение», сут; в – «цветение – созревание», сут; г – «вегетационный период», сут; д – масса 1000 семян, г; е – семенная продуктивность растения, г; ж – высота растения, см. Mean – среднее, Min – минимум, Max – максимум. САФ – Среднеазиатский филиал, АОС – Астраханская опытная станция

Fig. 1. Variability of phenological and agronomic characters in mung bean under different ecogeographic conditions: а – number of days from sowing to sprouting; б – days from sprouting to flowering; в – days from flowering to maturation; г – days from sprouting to maturation; д – 1000 seed weight (g); е – seed yield per plant (g); ж – plant height (cm). Min – minimum, Max – maximum. САФ – Central Asian Branch of VIR, АОС – Astrakhan Experiment Station of VIR

Таблица 1. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению ассоциаций между изменчивостью хозяйственно ценных и фенологических признаков *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek и генотипом, а также эколого-географическими условиями

Table 1. Results of a univariate analysis of variance for identifying associations of the variability of agronomic and phenological characters in *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek with the genotype and ecogeographic conditions

Фактор	Df	SS	F	p	SS	F	p	SS	F	p
Место репродукции (регион возделывания)										
		Длительность периода «цветение – созревание»			Длительность периода «всходы – созревание»			Продуктивность		
Место репродукции	1	29899	160,62	0,0000	30296	69,32	0,0003	3459	39,41	0,006
Остаточная изменчивость	607	112213			263486			52924		
Общая изменчивость	608	142115			293782			56384		
η^2 , %		21,0			10,3			6,1		
Генотип										
		Длительность периода «всходы – цветение»			Длительность периода «всходы – созревание»			Масса 1000 семян		
Генотип	75	96903	6,42	0,0000	170103	7,82	0,0000	17120	5,84	0,0000
Остаточная изменчивость	533	99273			202886			19294		
Общая изменчивость	608	196177			312979			36414		
η^2 , %		49,4			54,4			47,0		
Год										
		Длительность периода «посев – всходы»			Длительность периода «всходы – цветение»			Длительность периода «цветение – созревание»		
Год	8	1286	82,71	0,0000	50061	18,88	0,0000	31509	14,93	0,0000
Остаточная изменчивость	600	746			122440			101212		
Общая изменчивость	608	2032			177181			132722		
η^2 , %		63,3			28,3			23,7		
		Длительность периода «всходы – созревание»			Масса 1000 семян			Продуктивность		
Год	8	65539	13,94	0,0000	3812	4,77	0,0216	8843	11,87	0,0000
Остаточная изменчивость	600	225612			27687			35756		
Общая изменчивость	608	403132			13440			444740		
η^2 , %		22,5			9,1			19,8		

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Фактор	Df	SS	F	p	SS	F	p	SS	F	p
Сумма активных температур										
		<i>Длительность периода «посев – всходы»</i>			<i>Длительность периода «всходы – цветение»</i>			<i>Длительность периода «цветение – созревание»</i>		
Температура	8	2106	129,18	0,0000	44461	14,43	0,0000	26751	15,36	0,0000
Остаточная изменчивость	600	802			151715			85730		
Общая изменчивость	608	2909			196176			112482		
η^2 , %		63,3			28,3			23,7		
		<i>Длительность периода «всходы – созревание»</i>			<i>Продуктивность</i>					
Температура	8	57277	11,03	0,0000	5407	7,55	0,0000			
Остаточная изменчивость	600	255702			21855					
Общая изменчивость	608	312979			27263					
η^2 , %		22,5			19,8					
Количество осадков										
		<i>Длительность периода «посев – всходы»</i>			<i>Длительность периода «всходы – цветение»</i>			<i>Длительность периода «цветение – созревание»</i>		
Осадки	8	2106	129,18	0,0000	44461	14,43	0,0000	26751	15,36	0,0000
Остаточная изменчивость	600	802			151715			85730		
Общая изменчивость	608	2909			196176			112482		
η^2 , %		63,3			28,3			23,7		
		<i>Длительность периода «всходы – созревание»</i>								
Осадки	8	57277	11,03	0,0000						
Остаточная изменчивость	600	255702								
Общая изменчивость	608	312979								
η^2 , %		22,5								

Примечание: SS – сумма квадратов; F – значение критерия Фишера; p – уровень значимости;

df – число степеней свободы; η^2 – доля влияния, %

Note: SS – sum of squares; MS – mean squares; F – Fisher criterion value; p – significance level;

df – degrees of freedom; η^2 , % – effect size, percentage

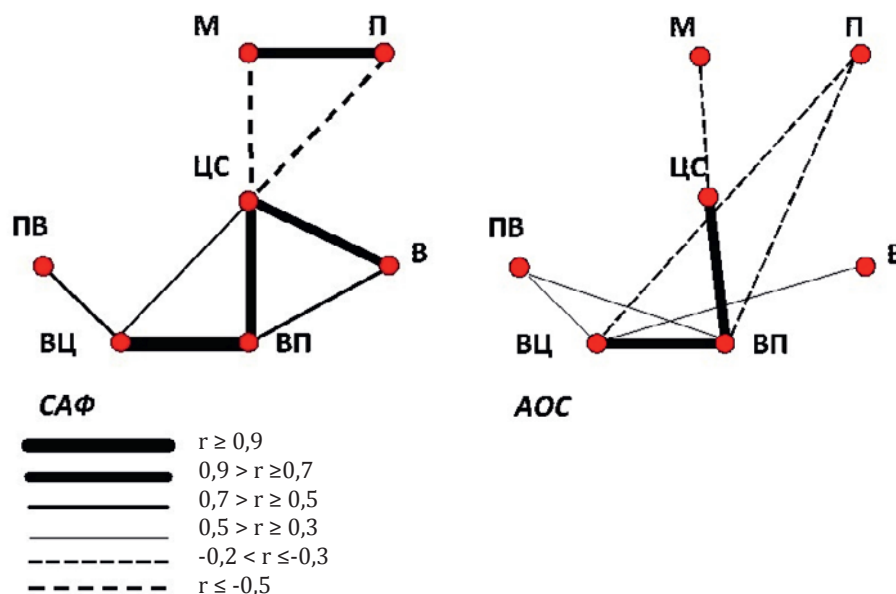


Рис. 2. Структура корреляций (корреляционные плеяды) фенологических и хозяйственно ценных признаков у изученных образцов маша в разных эколого-географических условиях: ВП – продолжительность периода «всходы – созревание», ПВ – продолжительность периода «посев – всходы», ВЦ – продолжительность периода «всходы – цветение», ЦС – продолжительность периода «цветение – созревание»; В – высота растения, М – масса 1000 семян, П – продуктивность семян с растения. САФ – Среднеазиатский филиал, АОС – Астраханская опытная станция

Fig 2. The structure of correlations (correlation pleiades) between phenological and agronomic characters in the studied mung bean accessions under different ecogeographic conditions: ВП – number of days from sprouting to maturation; ПВ – days from sowing to sprouting; ВЦ – days from sprouting to flowering; ЦС – days from flowering to maturation; В – plant height; М – 1000 seed weight; П – seed yield per plant; САФ – Central Asian Branch of VIR; АОС – Astrakhan Experiment Station of VIR

ние» и «всходы – созревание» отсутствовали так же, как и корреляция между длительностью периодов «всходы – цветение» и «цветение – созревание» (см. рис. 2).

Таким образом, на рост и развитие маша существенное влияние оказывают сумма активных температур и количество осадков в период вегетации. В условиях Узбекистана наибольшей продуктивностью отличались скороспелые и крупносемянные образцы, в Астраханской области продуктивность была больше связана с высокой скоростью роста растений на стадии «всходы – цветение».

Сравнение коэффициентов детерминации (R^2) и коэффициентов вариаций (CV) признаков, рассчитанных для каждого пункта изучения, выявило определенные различия как во взаимосвязях между признаками, так и в их варьировании, как по годам, так и по регионам исследования (табл. 2).

Изменчивость (CV) большинства признаков находилась в пределах от 18,0 до 40,0%. Наименьшие средние показатели отмечались у массы 1000 семян (18,26%), более высокие – у продолжительности периодов: «всходы – созревание» (24,86), «всходы – цветение» (31,10), «посев – всходы» (31,83), «цветение – созревание» (40,50). CV высоты растения составил 32,92%. Самый высокий коэффициент вариации наблюдался у продуктивности семян – 109,40%. Средние показатели CV большинства признаков были выше на САФ, чем на АОС; исключение составили масса 1000 семян и высота растения.

Средний коэффициент детерминации (R^2) варьировал в пределах от 0,01 до 0,18. Самые высокие показатели R^2 отмечались у признаков «всходы – цветение» (0,14) и «всходы – созревание» (0,18), наиболее низкие – у признаков «посев – всходы» (0,02) и «продуктивность» (0,01). Средние показатели R^2 всех признаков (кроме «всходы – цветение») были выше на АОС, по сравнению с САФ.

Продолжительность периода «всходы – созревание» наиболее зависела от условий среды, имела наибольший размах изменчивости и самые сильные связи с другими показателями (высокие коэффициенты вариации и детерминации). Этот признак в нашем исследовании можно назвать индикатором адаптивной изменчивости образцов, так как его изменчивость (CV) и корреляции (R^2) в большей степени зависят от изменений условий среды. Наименьшие размахи варьирования (CV) и уровень связей (R^2) наблюдались у массы 1000 семян – наиболее стабильного и наименее зависимого от других признака. Продуктивность семян характеризовалась самым сильным варьированием и слабой скоррелированностью с другими признаками. Изменчивость этого признака определялась преимущественно влиянием внешних факторов. Несмотря на это, среди исследованных нами староместных образцов были найдены сорта из Кореи (к-7038), Китая (к-7060), Афганистана (к-2216) и южных регионов России (к-2156, к-6349), отличающиеся стабильно высокими показателями продуктивности и скороспелости во все годы изучения в обоих пунктах.

Таблица 2. Изменчивость среднего коэффициента детерминации (R^2) и коэффициента вариации (CV) фенологических и хозяйственно ценных признаков маша в разных погодных и климатических условиях

Table 2. Variability of the mean coefficient of determination (R^2) and the coefficient of variation (CV) of phenological and agronomic characters in mung bean under different weather and climate conditions

Год	Длительность периода «посев – всходы»		Длительность периода «всходы – цветение»		Длительность периода «цветение – созревание»		Длительность периода «всходы – созревание»		Масса 1000 семян		Продуктивность		Высота растения		Сумма активных температур, °C	Количество осадков, мм
	R ²	CV, %	R ²	CV, %	R ²	CV, %	R ²	CV, %	R ²	CV, %	R ²	CV, %	R ²	CV, %		
Среднеазиатский филиал (САФ)																
1949	0,13	20,38	0,21	34,52	0,11	34,93	0,25	29,33	0,24	28,14	0,36	83,59	0,26	28,76	3279,1	334,6
1950	0,15	21,01	0,30	25,81	0,04	27,76	0,29	18,78	0,14	17,17	0,21	97,73	0,18	39,51	3598,6	90,7
1951	0,04	14,81	0,19	29,83	0,06	26,64	0,24	22,79	0,15	19,38	0,12	66,55	0,18	19,15	3752,4	122,6
1952	0,03	2,60	0,23	29,20	0,07	44,59	0,18	20,49	0,08	4,75	0,03	76,04	0,09	36,40	3666,4	238,5
1954	0,20	24,62	0,30	24,07	0,32	36,81	0,42	23,33	0,07	2,22	0,18	68,91	0,14	27,77	3641,9	202,0
1956	0,43	13,23	0,40	20,31	0,35	23,56	0,34	5,55	0,12	9,45	0,50	95,04	0,65	28,80	3978,7	158,4
САФ ¹	0,03	32,91	0,15	32,13	0,06	38,95	0,19	25,07	0,05	17,65	0,04	112,92	0,06	32,07	3652,9	191,1
Астраханская опытная станция (АОС)																
2009	0,02	11,41	0,08	12,83	0,14	25,24	0,20	14,56	0,04	23,86	0,02	100,43	0,04	16,10	3288,4	223,0
2018	0,03	4,79	0,16	29,40	0,34	55,28	0,19	22,80	0,05	19,11	0,25	62,98	0,24	23,11	3619,0	48,9
2019	0,10	3,34	0,24	25,04	0,26	23,28	0,33	21,88	0,13	2,83	0,16	94,59	0,20	27,58	3512,9	111,0
АОС ²	0,06	20,53	0,13	23,38	0,10	36,01	0,19	20,04	0,08	22,15	0,05	92,16	0,09	34,30	3473,4	127,6
Все годы ³	0,02	31,83	0,14	31,10	0,06	40,50	0,18	24,86	0,03	18,26	0,01	109,40	0,03	32,92	3593,0	169,8

Примечание: САФ¹ – показатели R^2 и CV рассчитаны по всем образцам и годам изучения на САФ; АОС² – показатели рассчитаны по всем образцам и годам изучения на АОС; все годы³ – показатели рассчитаны по всему массиву данных (по данным всех лет изучения)

Note: САФ¹ – R^2 and CV are calculated for all accessions and years of study at the Central Asian Branch of VIR; АОС² – R^2 and CV are calculated for all accessions and years of study at Astrakhan Experiment Station of VIR; все годы³ – R^2 and CV are calculated for the entire data set (based on data from all years of study)

Обсуждение

Расширение географических пределов возделывания культур – многовековая тенденция земледелия. В наши дни его обеспечивают не только успехи селекции, но и знание биологии культур, агроклиматических трендов, прогностические исследования. Сопоставление данных оценки коллекции *V. radiata* ВИР в двух разных регионах, различающихся почвенно-климатическими условиями, представляет собой пример эколого-географических исследований, имеющих вековую традицию в ВИР, и позволяет выявить адаптивные возможности образцов коллекции.

В наших исследованиях в обоих пунктах изучения образцов наблюдалась сильная изменчивость фенологических и хозяйственно ценных признаков и их зависимость от условий произрастания. Зависимость урожайности маша от погодных условий и генотипа неоднократно отражена в научной литературе (Ullah et al., 2012; Win et al., 2018; Samyuktha et al., 2020). При эколого-географическом изучении маша в шести климатических зонах Индии получены сопоставимые с нашими результаты о влиянии климатических условий и генотипа на размер семян и продуктивность семян с растения (Thangavel et al., 2011).

Тем не менее только в нашем исследовании выявлены различия по структуре и силе взаимосвязей между признаками маша в разных условиях. В Узбекистане продуктивность семян положительно коррелировала с массой 1000 семян и отрицательно с длительностью периода «цветение – созревание». В Астраханской области такая связь не была обнаружена и продуктивность находилась в отрицательной корреляции с продолжительностью периодов «всходы – цветение» и «всходы – созревание». О различиях взаимосвязей признаков при выращивании культуры в разных районах Индии можно судить, сопоставляя публикации. Так, в одних работах отмечена положительная связь между продуктивностью растения и массой 100 семян (Thangavel et al., 2011), в других описана отрицательная корреляция размера семян с биологической урожайностью и положительная индексом урожая (Biradar et al., 2007; Narasimhulu et al., 2013). Как правило, последняя закономерность проявляется у растений в экстремально засушливых местообитаниях (Taylor et al., 2020).

Выявленная нами пластичность систем взаимосвязей между признаками выражалась в том, что признаки значительно различались по степени стабильности и уровню (силе) связей. Многие взаимосвязи зависели от погодных условий (от силы воздействия засухи, суммы активных температур). Засуха на разных этапах развития растения сужала размах варьирования межфазных периодов и вегетационного периода в целом, высокая сумма активных температур (выше 3900°C) повышала их средние коэффициенты детерминации. Пониженная сумма активных температур (ниже 3300°C) увеличивала изменчивость массы 1000 семян (в силу того, что часть из них не достигала созревания) и усиливала детерминированность семенной продуктивности. В ряде случаев небольшое количество осадков (ниже 160 мм) также увеличивало детерминированность продуктивности семян и высоты растений.

В зависимости от условий года признаки попадали то в группу со слабой изменчивостью и слабой детерминированностью (низкий CV и низкий R^2), то в ряд

с сильно варьирующей и слабо согласованной изменчивостью (высокий CV и низкий R^2). Водных условиях признаки повышали свою изменчивость (CV) и детерминированность (R^2), в других – наоборот, причем изменчивость по этим характеристикам зависела как от реакции самого признака (его природы), так и от условий культивирования. Совершенно очевидно, что у растений в меняющихся условиях произрастания формируются специфические системы связей, отражающие наличие разных блоков коадаптированных генов и других интегрированных генных комплексов, определяющих адаптацию к определенной среде. Различия в силе связей между признаками, их изменение у одних и тех же генотипов растений, произрастающих в различных эколого-географических условиях, показаны нами ранее для сои (Burlyaeva, Rostova, 2014, 2019).

Наименьшей вариабельностью и силой связей характеризовались признаки: масса 1000 семян, высота растения, длительность периодов «посев – всходы» и «цветение – созревание». Относительно слабая изменчивость и высокая детерминированность наблюдались у длительности периодов: «всходы – цветение» и «всходы – созревание». Сильная изменчивость и слабая детерминация отмечались у продуктивности семян, что свидетельствует об адаптивности этого признака, определяющего способность популяции к размножению в меняющихся условиях среды. Пластичность корреляций этого признака обеспечивает жизнеспособность растений при дефиците ресурсов.

В годы, неблагоприятные для роста культуры (засушливые или сравнительно холодные), повышалась детерминированность большинства признаков, в годы с достаточным количеством осадков и высокой суммой активных температур увеличивалась изменчивость признаков. Наиболее сильная изменчивость большинства признаков наблюдалась на САФ в годы с большим количеством осадков, а детерминированность – на АОС. Поэтому для изучения границ изменчивости и полиморфизма признаков наиболее подходят условия САФ, для исследования адаптивности образцов – АОС.

За два десятилетия поддержания и изучения коллекции маша в Астраханской области выявлен генофонд культуры, способный формировать стабильные урожаи в Нижнем Поволжье. Он включает образцы, которым присуща высокая энергия роста на ранних стадиях развития, быстрый переход к цветению и созреванию. Эти характеристики позволяют им формировать семена до наступления засухи и при сравнительно низких температурах воздуха. Кроме того, успехи современной селекции выразились в создании сортов маша, у которых продолжительность вегетационного периода сократилась от 100–120 дней до 55–65 (Burlyaeva et al., 2019; Pratar et al., 2019). За счет этого растениям удастся избежать влияния целого ряда биотических и абиотических стрессоров.

В нашем исследовании староместных сортов маша наиболее толерантными к меняющимся условиям среды оказались скороспелые генотипы, обладающие короткими периодами «всходы – цветение» и «всходы – созревание». Именно эти признаки прежде всего придают сортам при продвижении сельскохозяйственных культур на север. На сегодняшний день Нижнее Поволжье, где расположена АОС, – северная граница современного агрономического ареала маша. Не исключено, что в перспективе этот регион может стать и местом массового производства этой культуры.

Заключение

Обобщая результаты проведенного нами анализа, можно констатировать, что сила корреляций между большинством изученных признаков выше при выращивании в неблагоприятных условиях. Коэффициент детерминации многих признаков усиливается при низкой или очень высокой сумме активных температур, а также при небольшом количестве осадков во время вегетации растений. В наших исследованиях такая изменчивость систем взаимосвязей между признаками отмечалась при выращивании культуры за пределами ее традиционного ареала возделывания – в Астраханской области (АОС), а также при неблагоприятных условиях в регионе ее исторического производства – в Узбекистане (САФ). Поэтому повышение уровня корреляций между признаками можно рассматривать как показатель (индикатор) неблагоприятных условий произрастания. Выявленная пластичность систем взаимосвязей между признаками обеспечивает жизнеспособность растений в меняющихся условиях среды.

При селекции сортов маша для производства в новых для культуры условиях следует учитывать стабильность корреляций между признаками, особенно связанными с продуктивностью растения. Следовательно, выбор наиболее значимых взаимосвязей между хозяйственно ценными признаками необходимо проводить в конкретных условиях, то есть там, где планируется выращивание маша. В нашем исследовании крупносемянные образцы, с коротким периодом «цветение – созревание» отличались наилучшей продуктивностью в Узбекистане. Генотипы с короткими периодами «всходы – созревание» и «всходы – цветение», то есть быстрее развивающиеся на начальных этапах развития растения и быстрее заканчивающие жизненный цикл, были наиболее толерантны к новым для них условиям Астраханской области.

Работа поддержана грантом РФФИ № 18-46-08001.

This research was supported by the Russian-Taiwanese grant from the Russian Science Foundation, No. 18-46-08001.

References / Литература

Biradar S., Kaveri S., Salimath P.M., Ravikumar R.L. Genetic studies in greengram and association analysis. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 2007;20(4):843-844.

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Chebukin P.A., Kiseleva N.A. The international descriptors for species of the genus *Vigna* Savi. St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Чебукин П.А., Киселева Н.А. Международный классификатор видов рода *Vigna* Savi. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).

Burlyayeva M.O., Gurkina M.V., Tikhonova N.I. Catalogue of the VIR global collection. Issue 818. Mungbean and black gram: The initial material for breeding under irrigation in the Caspian Lowland. St. Petersburg: VIR; 2014. [in Russian] (Бурляева М.О., Гуркина М.В., Тихонова Н.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 818. Маш, урд. Исходный материал для селекции при орошении в условиях Прикаспийской низменности. Санкт-Петербург: ВИР; 2014).

Burlyayeva M.O., Rostova N.S. Variability and determinacy of morphological, phenological, biochemical and agro-

nom characteristics in forage soybeans of various uses under the conditions of Krasnodar region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2014;175(2):42-52. [in Russian] (Бурляева М.О., Ростова Н.С. Изменчивость и детерминированность морфологических, фенологических, биохимических и хозяйственных признаков кормовой сои разных направлений использования в условиях Краснодарского края. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2014;175(2): 42-52).

Burlyayeva M.O., Rostova N.S. Variability of the structure of correlations between the morphological and commercial traits of soybeans with different growth habit and branching characters. *Vavilov Journal Genetics and Breeding*. 2019;23(6):708-716. DOI: 10.18699/VJ19.544

Burlyayeva M.O., Vishnyakova M.A., Gurkina M.V., Kozlov K.N., Lee C.R., Ting C.T. et al. Collections of mungbean [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] and urdbean [*V. mungo* (L.) Hepper] in Vavilov Institute (VIR): traits diversity and trends in the breeding process over the last 100 years. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2019;66(4):767-781. DOI: 10.1007/s10722-019-00760-2

Descriptors for mung bean. Rome: IBPGR Secretariat; 1980.

Ivanter E.V., Korosov A.V. Introduction to quantitative biology (Vvedeniye v kolichestvennyuyu biologiyu). Petrozavodsk; 2003. [in Russian] (Ивантер Е.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск; 2003).

Lawn R.J., Ahn C.S. Mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek / *Vigna mungo* (L.) Hepper). In: R.J. Summerfield, E.H. Robert (eds). *Grain Legume Crops*. London: Collins; 1985. p.584-623.

Nair R.M., Schreinemachers P. Global status and economic importance of mungbean. In: R.M. Nair, R. Schafleitner, S.H. Lee (eds). *The Mungbean Genome*. Springer Nature; 2019. p.1-8.

Nair R.M., Yang R.Y., Easdown W.J., Thavarajah D., Thavarajah P., Hughes J.D. et al. Biofortification of mung bean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013;93(8):1805-1813. DOI: 10.1002/jsfa.6110

Narasimhulu R., Naidu N.V., Shanthi Priya M., Rajarajeswari V., Reddy K.H.P. Genetic variability and association studies for yield attributes in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Indian Journal of Plant Sciences*. 2013;2(3):82-86.

Pataczek L., Zahir Z.A., Ahmad M., Rani S., Nair R., Schafleitner R. et al. Beans with benefits – the role of mungbean (*Vigna radiata*) in a changing environment. *American Journal of Plant Sciences*. 2018;9(7):1577-1600. DOI: 10.4236/ajps.2018.97115

Pratar A., Gupta S., Basu P.S., Tomar P., Dubey S., Rathore M. et al. Towards development of climate smart mungbean: challenges and opportunities. In: C. Kole (ed.). *Genomic Designing of Climate-Smart Pulse Crops*. Cham: Springer; 2019. p.235-264. DOI: 10.1007/978-3-319-96932-9_5

RIHMI-WDC. Technology of Aisori: Site of technology (FGBU "VNIIGMI-MTsD". Tekhnologii Aisori: sayt tekhnologii). 2014. [in Russian] (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Технологии Аисори: сайт технологии. 2014) URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> [дата обращения: 25.04.2018].

Rostova N.S. Correlations: structure and variability. In: *Proceedings of the St. Petersburg Society of Naturalists. Ser. 1. Vol. 94*. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2002. p.1-308. [in Russian] (Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. В кн.: *Труды Санкт-*

- Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 1. Т. 94. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2002. С.1-308).
- Samyuktha S.M., Malarvizhi D., Karthikeyan A., Dhasarathan M., Hemavathy A.T., Vanniarajan C. et al. Delineation of genotype × environment interaction for identification of stable genotypes to grain yield in mungbean. *Frontiers in Agronomy*. 2020;2:577911. DOI: 10.3389/fagro.2020.577911
- StatSoft, Inc. Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft; 2013. Available from: <http://www.statsoft.com/textbook> [accessed 03.05.2020].
- Taylor C.M., Kamphuis L.G., Cowling W.A., Nelson M.N., Berger J.D. Ecophysiology and phenology: genetic resources for genetic/genomic improvement of narrow-leaved lupin. In: K. Singh, L.G Kamphuis, M. Nelson (eds). *The Lupin Genome. Compendium of Plant Genomes*. Cham: Springer; 2020. p.19-30. DOI: 10.1007/978-3-030-21270-4_2
- Thangavel P., Anandan A., Eswaran R. AMMI analysis to comprehend genotype-by-environment (GE) interactions in rainfed grown mungbean (*Vigna radiata* L.). *Australian Journal of Crop Science*. 2011;5(13):1767-1775.
- ThermoKarelia.ru. Geoinformation system "Meteo measurements online". Weather forecasts (Geoinformatsionnaya Sistema "Meteo izmereniya onlayn". Prognozy pogody). 2000-2020. [in Russian] (ThermoKarelia.ru. Геоинформационная система «Метео измерения онлайн». Прогнозы погоды. 2000-2020. URL: http://thermo.karelia.ru/weather/w_precips.shtml [дата обращения: 12.05.2020]).
- Ullah H., Khalil I.H., Khalil I.A., Fayaz M., Yan J., Ali F. Selecting high yielding and stable mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes using GGE biplot techniques. *Canadian Journal of Plant Science*. 2012;92:951-960. DOI: 10.4141/cjps2011-162
- Vishnyakova M.A., Burlyaeva M.O., Samsonova M.G. Green gram and black gram: prospects of cultivation and breeding in Russian Federation. *Vavilov Journal Genetics and Breeding*. 2018;22(80): 957-966. [in Russian] (Вишнякова М.А., Бурляева М.О., Самсонова М.Г. Маш и урд: перспективы возделывания и селекции в Российской Федерации. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(8):957-966). DOI: 10.18699/VJ18.438
- Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burlyaeva M.O., Semenova E.V., Filipenko G.I., Aleksandrova T.G., Egorova G.P., Yankov I.I., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying: (methodological guidelines). 2nd ed. M.A. Vishnyakova (ed.). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Янков И.И., Булынецев С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: (методические указания). 2-е изд. / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-79-5
- Win K.S., Win K., Min T.D., Htwe N.M., Shwe T. Genotype by environment interaction and stability analysis of seed yield, agronomic characters in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes. *International Journal of Advanced Research*. 2018;6(3):926-934. DOI: 10.21474/IJAR01/6750

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Бурляева М.О., Гуркина М.В., Самсонова М.Г., Вишнякова М.А. Эколого-географическое изучение маша (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) из коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):131-141. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-131-141

Burlyaeva M.O., Gurkina M.V., Samsonova M.G., Vishnyakova M.A. Ecogeographic assessment of mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) from the collection of the Vavilov Institute (VIR). Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):131-141. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-131-141

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-131-141>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Burlyaeva M.O. <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Gurkina M.V. <https://orcid.org/0000-0001-6169-6089>

Samsonova M.G. <https://orcid.org/0000-0001-8170-1260>

Vishnyakova M.A. <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Морфологический и генетический полиморфизм интродукционной популяции *Prunus pumila* L. в Челябинской области

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-142-152



УДК:575.17:581.4+634.235

Поступление/Received: 29.01.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

М. С. ЛЁЗИН*, С. В. АСБАГАНОВ

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090 Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
* ✉ Lezin-misha@mail.ru

Morphological and genetic polymorphism of the introduced population of *Prunus pumila* L. in Chelyabinsk Province

M. S. LEZIN*, S. V. ASBAGANOV

Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the RAS,
101 Zolotodolinskaya St., Novosibirsk 630090, Russia
* ✉ Lezin-misha@mail.ru

Актуальность. Изучение генетического полиморфизма представителей *Prunus pumila* L. с широким диапазоном изменчивости морфологических признаков позволит выявить перспективные генотипы с высокой комбинационной способностью при их гибридизации.

Материал и методы. В исследование включены 39 генотипов челябинской культурной популяции и 6 генотипов из Хакасии с крайними и промежуточными проявлениями признаков размера, окраски и формы плода, формы и структуры поверхности косточки, зазубренности края и формы листовой пластинки, габитуса растений и некоторых других. Генетические дистанции рассчитаны с помощью программы Past (Gower), используя матрицу бинарных состояний наличия или отсутствия амплифицированных фрагментов. UPGMA-дендрограмма построена с помощью TREECON (version 1.3b).

Результаты и заключение. Отобранные 5 ISSR-и 2 RAPD-праймеры продемонстрировали свою эффективность в выявлении генетического полиморфизма изученных образцов. Удалось выявить связь отдельных праймеров с признаками морфологии косточек, формы листовой пластинки, габитуса растений и географического происхождения генотипа. При одновременном включении в анализ всех праймеров и генотипов кластерный анализ не смог сгруппировать клады для образцов *P. pumila* с наличием или отсутствием каких-либо признаков. Самостоятельная клада с достоверной бутстреп-поддержкой (100%) сформировалась только для генотипов систематически близкого вида *P. tomentosa* Thunb., взятых в анализ в качестве внешней группы. Причем внутри этой клады с достоверностью бутстреп-поддержки 86% выявлены различия между генотипами гибридного происхождения видов *P. pumila* × *P. tomentosa* (F₃) и генотипом вида *P. tomentosa*. В селекционных целях на основе данных индексов генетического различия выявлены перспективные родительские пары для улучшения показателей качества плодов и типа кроны.

Ключевые слова: молекулярно-генетические маркеры, морфологические признаки, ISSR-маркеры, RAPD-маркеры, кластеризация.

Background. Studying genetic polymorphism of the *Prunus pumila* L. representatives with a wide range of variability in morphological characters will make it possible to identify promising genotypes with high combining ability for hybridization.

Material and methods. The study covered 39 genotypes from the Chelyabinsk cultivated population and 6 genotypes from Khakassia, with extreme or intermediate expressions of such characters as fruit size, color and shape; stone shape and surface structure; leaf blade serration and shape; plant habitus, and some others. Genetic distances were calculated using the data matrix for binary states of presence (1) or absence (0) of amplified fragments with the Past Program (Gower). The UPGMA dendrograms were obtained in TREECON (version 1.3b).

Results and discussion. The selected 5 ISSR and 2 RAPD primers demonstrated their effectiveness in detecting genetic polymorphism in the studied accessions. In individual cases, a weak connection of separate markers with leaf blade edge serration, stone surface structure, plant habitus, and geographic origin of the genotype was detected. Concurrent inclusion of all primers and genotypes in the cluster analysis failed to group the studied *P. pumila* samples into clades according to the presence/absence of any traits, which may attest to their close genetic affinity. An independent clade with reliable bootstrap support (100%) was formed only for the genotypes of the taxonomically close sp. *P. tomentosa* Thunb., analyzed as an external group. Moreover, this clade manifested (with the 86% reliability of bootstrap support) differences between the hybrid genotypes of *P. pumila* × *P. tomentosa* (F₃) and the genotype of *P. tomentosa*. Parent pairs promising for fruit quality and shrub shape improvement through breeding were identified using the produced indices of genetic distinction.

Key words: molecular genetic markers, morphological characters, ISSR markers, RAPD markers, clustering.

Введение

Вид *Prunus pumila* L. (слива низкая) относится к подсемейству *Spiraeopsis* (Koehne) Erem. секции *Microcerasus* Spach рода *Prunus* L. Вид диплоидный ($2n = 16$) (Nizhnikov, 1977; Eremin, 1985; Simagin, 2013).

P. pumila произрастает в Северной Америке, где представлен, по мнению разных исследователей, двумя – четырьмя разновидностями (Eremin et al., 1979; Yushev, 1992; Catling et al., 1999). На территории России и всей Евразии является интродуцированным, изредка признается частично натурализовавшимся видом, особенно благоприятно произрастающим в лесостепных регионах Поволжья, Урала и Сибири (Merker, 2013; Simagin, 2013). *P. pumila* – низкорослый листопадный многоствольный кустарник со стелющимися или косо восходящими побегами от 0,5 до 2 и выше метров в высоту. Листья мелкие, ланцетовидные, кожистые, блестящие. Цветки белые, мелкие. Плод – сочная костянка, обычно округлой, овальной или яйцевидной формы, с черной или почти черной окраской. Иногда встречаются желтоплодные генотипы. Масса плода в пределах 1–3, иногда до 5 и более граммов (Simagin, 2013; Flora of North America..., 2016).

Широкий полиморфизм признаков, свидетельствующий, как правило, о высоком адаптационном потенциале вида, обусловил его неоднозначный культивируемый ареал и разностороннее использование в любительском садоводстве. По мнению ряда ученых, крупные плоды с хорошим вкусом у представителей культурной популяции могли быть унаследованы от степной западноамериканской разновидности *P. pumila* var. *besseyi* (L.H. Bailey) Wauhgh, нередко имеющей даже в естественных местообитаниях крупные, хорошего вкуса плоды (Hansen, 1904; Salamatov, 1959; Rohder, 2000).

В большей степени широкое распространение связано с использованием *P. pumila* в качестве подвоя для сортов сливы, абрикоса и реже персика (Putov, Puchkin 1982; Krška et al., 2002; Skvortsov, Kramarenko, 2007). При этом размножение растений происходит в основном семенным способом, что приводит к сильной генетической неоднородности посадочного материала. Ценные в этом отношении признаки «высокорослость» и «пряморослость» растений культурной популяции по мнению ряда авторов могли быть унаследованы от восточноамериканской разновидности *P. pumila* var. *pumila* (Salamatov, 1959; Catling, 1999; Rohrer, 2000; Simagin, 2013).

К таксономическим признакам также нередко относятся признаки косточки. Так, для разновидности *P. pumila* var. *depressa* (Pursh) Bean в естественных условиях отличительным признаком является веретеновидная форма косточки (Catling, 1999; Flora of North America..., 2016). По нашим наблюдениям, в культурной популяции Челябинской области данный признак не выявлен, что может свидетельствовать о неучастии этой разновидности в становлении культурной популяции *P. pumila* (Lezin et al., 2019).

Включение *P. pumila* в молекулярно-генетические исследования и, в частности, использование RAPD- и ISSR-маркеров позволили подтвердить, что изучаемый вид систематически очень близок к видам подрода *Prunophora* (Mowrey, Werner, 1990; Shimada et al., 2000; Bortiri et al., 2001).

Изучение генетического полиморфизма *P. pumila* с помощью ISSR- и RAPD-маркеров позволит определить, насколько в культурной популяции те или иные морфоло-

гические признаки могут свидетельствовать о генетической близости отдельных морфотипов между собой и отличимости от растений с иными признаками. Информация о генетических дистанциях между генотипами – донорами ценных признаков позволит составить перспективные комбинации для селекции, обеспечивающие при меньшем числе гибридных растений максимальный эффект гетерозиса.

Материалы и методы

В молекулярно-генетический анализ для изучения изменчивости вида *P. pumila* включены генотипы, отличающиеся по основным морфологическим признакам (табл. 1): морфотипы кустов; окраска, форма и размер плодов; окраска и консистенция мякоти; степень отделяемости косточки и качество отрыва плода от плодоножки; форма и характер поверхности косточки, форма и зазубренность листовой пластинки, а также хозяйственно ценный показатель – вкус плодов. Всего в опыт включено 45 генотипов, из которых 39 генотипов получены из разных мест в окрестностях г. Челябинска и 6 – из Хакасии от селекционера по косточковым культурам И. Л. Байкалова (с подписью «Б» в названии генотипов). В качестве сравнения в опыт включены 3 генотипа гибридного происхождения между видами *P. pumila* и *P. tomentosa* Thunb. F₂ и следующих поколений, полученных с ДАНИИСХ и Дальневосточной опытной станции ВИР от селекционера д-ра биол. наук В. П. Царенко. В работе использовали молодые свежие листья.

Для выделения ДНК использовали набор NucleoSpin Plant II (Macherey-Nagel, Germany). При выделении ДНК использован SDS-экстрагирующий буфер PL₂ с добавлением β-меркаптоэтанола в концентрации 0,2% в качестве антиоксиданта. Все процедуры выделения ДНК выполняли в соответствии со стандартным протоколом производителя.

Постановку ПЦР проводили на амплификаторе C-1000 (Bio-Rad, USA) в объеме 15 мкл. Реакционная смесь включает 8,6 мкл H₂O; 1,5 мкл 10x Tag-буфер («Евроген», Россия); 1,5 мкл 25 mM MgCl₂; 0,6 мкл dNTPs (5 mM каждого), 0,6 мкл праймер (10 пМ/мкл); 1 ед. HS Tag ДНК-полимеразы (Евроген, Россия); 2 мкл геномной ДНК, разведенной водой до концентрации 10 нг/мкл. Разделение ПЦР фрагментов проводили путем электрофореза в 1,7-процентном агарозном геле с добавлением SYBR Green I в 1x TAE-буфере при удельном напряжении 4 В/см в течение 80 мин, визуализировали под УФ в системе гель-документирования Gel Doc XR+ (BioRad, USA). Использовали маркер молекулярной массы 100 + bp DNA Ladder (Евроген, Россия).

Для амплификации RAPD-праймеров использовали следующий оптимизированный температурный профиль: первичная денатурация при 94°C – 4 мин и 95°C – 1 мин; 40 циклов: денатурация 94°C – 15 с, отжиг праймеров T_a (см. табл. 1) – 25 с, элонгация при 72°C – 120 с; финальная элонгация – 7 мин при 72°C. Для амплификации ISSR-праймеров использовали следующий оптимизированный температурный профиль: первичная денатурация при 94°C – 4 мин и 95°C – 1 мин; 40 циклов: денатурация 94°C – 15 с, отжиг праймеров T_a (см. табл. 1) – 20 с, элонгация при 72°C – 120 с; финальная элонгация – 7 мин при 72°C. Для проверки достоверности полученных ДНК-спектров опыт повторяли.

Характеристики ISSR- и RAPD-праймеров приведены в таблице 2.

Таблица 1. Характеристика образцов, включенных в анализ
Table 1. Characteristics of the accessions included in the analysis

№	Форма	Окраска плода	Масса плода	Форма плода*	Окраска мякоти*	Форма косточки	Характер поверхности косточки	Листовая пластинка	
								Форма*	Зазубренность*
1	Б 9-14	ж	2,82	О	Ж	Яйцевидная	Ровная	Л	Р-П
2	Нёвушка	ж	2,86	-	Ж	-	-	Л	М-П
40	Б 11-11	ч	2,43	ОВ	Ж	Округлая	Ровная	ЛО	М-П
41	Б 11-13	ч	2,23	Я	Ж	Удлиненная	Среднерребристая	ЛО	Т-Г
9	Б 11-14*	ч	2,07	О	Ж	Округлая	Ровная	П-Э	Т-Г
42	Б 13-14	ч	2,49	ОВ	З	Удлиненная	Ровная	П-Э	Т-Г
3	Б 13-18	ч	3,62	Я	Ж	Яйцевидная	Слаборребристая	Л	М-П
5	П 27-51	ч	-	-	-	-	-	ЛО	М-П
20	Н 1-1-3	ч	1,89	С	Б	Удлиненная	Ровная	П-Э	Т-Г
12	Н 1-1-13	ч	3,62	С	З	Округлая	Слаборребристая	Э	Т-Г
21	Н 1-1-23	ч	1,97	ОВ	Б	Эллипсоидная	Слаборребристая	П-Э	Г
28	Н 1-1-26	ч	1,93	Ш-Я	З-Р	Округлая	Слаборребристая	П-Э	Т-Г
15	Н 1-1-31	ч	3,69	О	З	Округлая	Слаборребристая	Э	Т-Г
13	Н 1-1-34	ч	2,00	О	З	Округлая	Ровная	Э	Т-Г
17	Н 1-1-39	ч	2,85	Ш-Я	К	Яйцевидная	Ровная	П-Э	Т-Г
19	Н 1-1-43	ч	2,33	О	Б	Округлая	Ровная	П-Э	Р-П
18	Н 1-1-46	ч	2,1	С	К	Яйцевидная	Слаборребристая	П-Э	Р-П
38	Н 2-1-2	ч	1,01	О	Ж	Округлая	Ровная	Л	Т-Г
31	Н 2-1-6	ч	1,79	О	З-Р	Удлиненная	Ровная	П-Э	Т-Г
6	Н 2-1-10***	ч	2,31	О	Ж	Эллипсоидная	Слаборребристая	П-Э	Т-Г
11	Н 2-1-13**	ч	16,6	ОВ	К	Эллипсоидная	Слаборребристая	ЛО	Р-П
8	Н 2-1-27*	ч	2,30	С	К	Удлиненная	Ровная	П-Э	Р-П
36	Н 2-1-31	ч	4,23	ОВ	З-Р	Эллипсоидная	Ровная	П-Э	Р-П
34	Н 2-1-32	ч	3,82	О	З-Р	Округлая	Среднерребристая	ЛО	Г
30	Н 2-1-53	ч	3,69	Я	З-Р	Округлая	Ровная	Э	Т-Г

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

№	Форма	Окраска плода	Масса плода	Форма плода*	Окраска мякоти*	Форма косточки	Характер поверхности косточки	Листовая пластинка	
								Форма*	Зазубренность*
33	Н 2-1-58	ч	2,58	О	З-Р	Округлая	Ровная	Л	Р-П
29	Н 3-1-1	ч	2,93	О	З	Яйцевидная	Ровная	П-Э	Т-Г
39	Н 3-1-7	ч	1,81	О	Б	Эллипсовидная	Ровная	Э	Т-Г
14	Н 3-1-9	ч	2,28	С	З	Удлиненная	Слаборебристая	Л	Т-Г
10	Н 3-1-14**	ч	2,04	О	З	Округлая	Слаборебристая	П-Э	Т-Г
32	Н 3-1-26	ч	3,03	Ш-Я	З-Р	Округлая	Слаборебристая	П-Э	Т-Г
7	Н 3-1-40*	ч	2,88	О	З-Р	Яйцевидная	Среднебребристая	П-Э	Т-Г
26	Н 4-1-2	ч	3,38	Ш-Я	З-Р	Округлая	Ровная	П-Э	Т-Г
16	Н 4-1-5	ч	3,51	Я	З	Удлиненная	Ровная	П-Э	Т-Г
23	Н 4-1-6	ч	2,41	ОВ	Б	Эллипсовидная	Ровная	П-Э	Т-Г
27	Н 4-1-7	ч	1,90	О	З-Р	Округлая	Ровная	Э	Т-Г
25	Н 4-1-8	ч	2,35	Я	З-Р	Яйцевидная	Ровная	П-Э	Т-Г
22	Н 4-1-17	ч	2,64	О	Б	Эллипсовидная	Слаборебристая	Л	Р-П
24	Н 4-1-19	ч	2,00	С	Б	Эллипсовидная	Слаборебристая	З-Э	Р-П
35	Н 4-1-39	ч	5,15	С	З-Р	Яйцевидная	Слаборебристая	Л	Р-П
4	Н 3-3-21***	ч	2,07	Ш-Я	К	Яйцевидная	Слаборебристая	П-Э	Т-Г
37	VIII 24-9	ч	4,85	-	-	-	-	П-Э	М-П
43	Н 5-3-4	ч	4,5	С	Ж	Обратнойц.	Ровная	Э	М-П
44	Н 27-2-13	ч	2,25	О	Ж	Обратнойц.	Ровная	П-Э	Р-П
45	Н 2-2-48	ч	2,43	-	-	-	-	П-Э	М-П

Примечание: **окраска плода:** ж – желтая, ч – черная; **форма плода:** О – округлая, Я – яйцевидная, Ш-Я – широко-яйцевидная, С – сердцевидная, ОВ – овальная; **окраска мякоти:** Ж – желтая, З – зеленая, З-Р – зелено-розовая, К – красная, Б – бордовая; **форма листовой пластинки:** П-Э – продолговато-эллиптическая, Э – эллиптическая, Л – ланцетовидная, З-Р – заостренно-эллиптическая, ЛО – лопатчатая; **зазубренность края листовой пластинки:** Р-П – расставлено-пильчатая, Т-Г – тупогородчатая, Г – городчатая, М-П – мелкопильчатая.

* – карлик; ** – стланец; *** – пирамидальный куст

Note: **fruit color:** ж – yellow, ч – black; **fruit shape:** О – subglobose, Я – ovoid, Ш-Я – broadly ovoid, С – heart-shaped, ОВ – ovate; **pulp color:** Ж – yellow, З – green, З-Р – green-pink, К – red, Б – maroon; **leaf blade shape:** П-Э – oblong-elliptic, Э – elliptic, Л – lanceolate, З-Р – acuminate-elliptic, ЛО – spatulate; **leaf edge serration:** Р-П – sparsely serrate, Т-Г – bluntly serrate, Г – crenulate, М-П – serrulate. * – dwarf shrub; ** – prostrate shrub; *** – pyramidal shrub

Таблица 2. Характеристика праймеров, использованных для изучения ДНК-полиморфизма образцов *Prunus pumila* L. и *P. tomentosa* Thunb.**Table 2.** Characteristics of primers used for studying DNA polymorphism in *Prunus pumila* L. and *P. tomentosa* Thunb.

Нуклеотидная последовательность 5'-3'	Наименование праймера	Температура обжига, °C	Число амплифицируемых фрагментов, шт.	Уровень полиморфизма, %	Размер фрагментов ДНК, пн
TGCCGAGCTG	OPA 02	40	9	88,9	600–1550
GAAACGGGTG	OPA 07	40	6	100	650–1400
(AG) ₈ C	UBC 808	60	13	100	350–1700
(CA) ₈ G	UBC 818	60	13	100	450–1450
(CT) ₈ T	UBC 823	60	9	100	800–1700
(AC) ₈ G	UBC 827	60	14	100	400–1500
(AG)8YC	UBC 835	60	11	90,9	200–1300

Для количественной оценки полиморфизма маркеров полученные данные были представлены в виде матрицы состояний бинарных признаков, в которой наличие или отсутствие ПЦР-фрагментов одинакового размера рассматривалось как состояния 1 и 0. Для статистической обработки данных использовали пакет программ TREECON (version 1.3b) (Van de Peer, De Wachter, 1994). Генетические дистанции рассчитывали по методу (Nei, Li, 1979). Для построения дендрограмм применяли метод UPGMA, расчет бутстреп-индексов проводили на 100 псевдорепликах. Для расчета генетических дистанций использовали программу Past 3 (Gower).

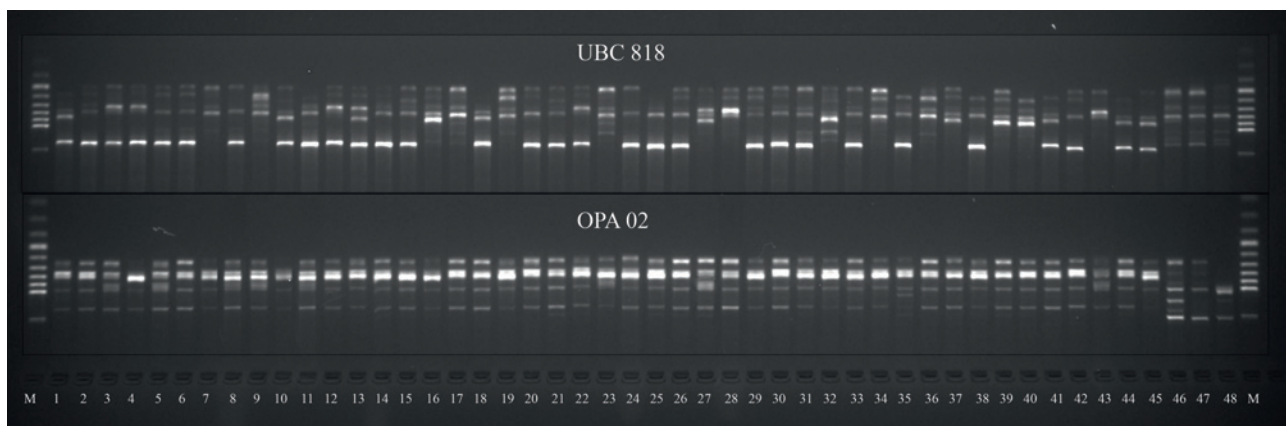
Результаты

После амплификации ДНК из протестированных 13 ISSR- и 12 RAPD-праймеров отобрали для дальнейшего анализа 5 ISSR- и 2 RAPD-праймера как наиболее информативные. После сравнения электрофореграмм, полученных с помощью эффективных праймеров, визуально (в качестве примера на рисунке 1 приведена электрофореграмма с праймерами UBC 818 и OPA 02) выявлен высокий полиморфизм изучаемых образцов (табл. 2). Суммарное число идентифицированных фрагментов –

75, длиной от 200 до 1700 пн. Из них 2 фрагмента не показали полиморфизма, 9 идентифицировали различие между видами *P. pumila* и *P. tomentosa*, но не выявляли различия между отдельными генотипами *P. pumila*. Также идентифицировано 7 редких для вида *P. pumila* фрагментов, образующих или не образующих не выше 5% одинаковых фрагментов. Наибольшее число фрагментов амплифицировалось с праймером UBC 827. В среднем один праймер инициировал 10,7 фрагментов. UPGMA-дендрограмма, построенная на основе 7 эффективных праймеров, представлена на рисунке 2.

Кластерный (UPGMA) анализ достоверно различает генотипы по видовой принадлежности. Все полученные клады в пределах вида *P. pumila* образованы с очень низкой бутстреп-поддержкой; таким образом, различия групп недостоверны. В пределах вида *P. pumila* с очень низкой достоверностью частично удалось различить генотипы по их происхождению. Четыре генотипа из шести (Б 9-14, Б 11-11, Б 11-13, Б 11-14), полученные из Хакасии, образовали самостоятельный субкластер.

По результатам исследования не выявлено тесной связи отдельных фрагментов ISSR- и RAPD-маркеров с морфологическими признаками генотипов *P. pumila*.

**Рис. 1.** Электрофореграмма PCR-ампликонов полученных с ISSR-праймером UBC 818 и RAPD-праймером OPA 02

Примечание: Расшифровка номеров образцов в таблице 1

Fig. 1. Electrophoregram of PCR amplicons obtained with the ISSR primer UBC 818 and RAPD primer OPA 02

Note: See Table 1 for accession number decoding

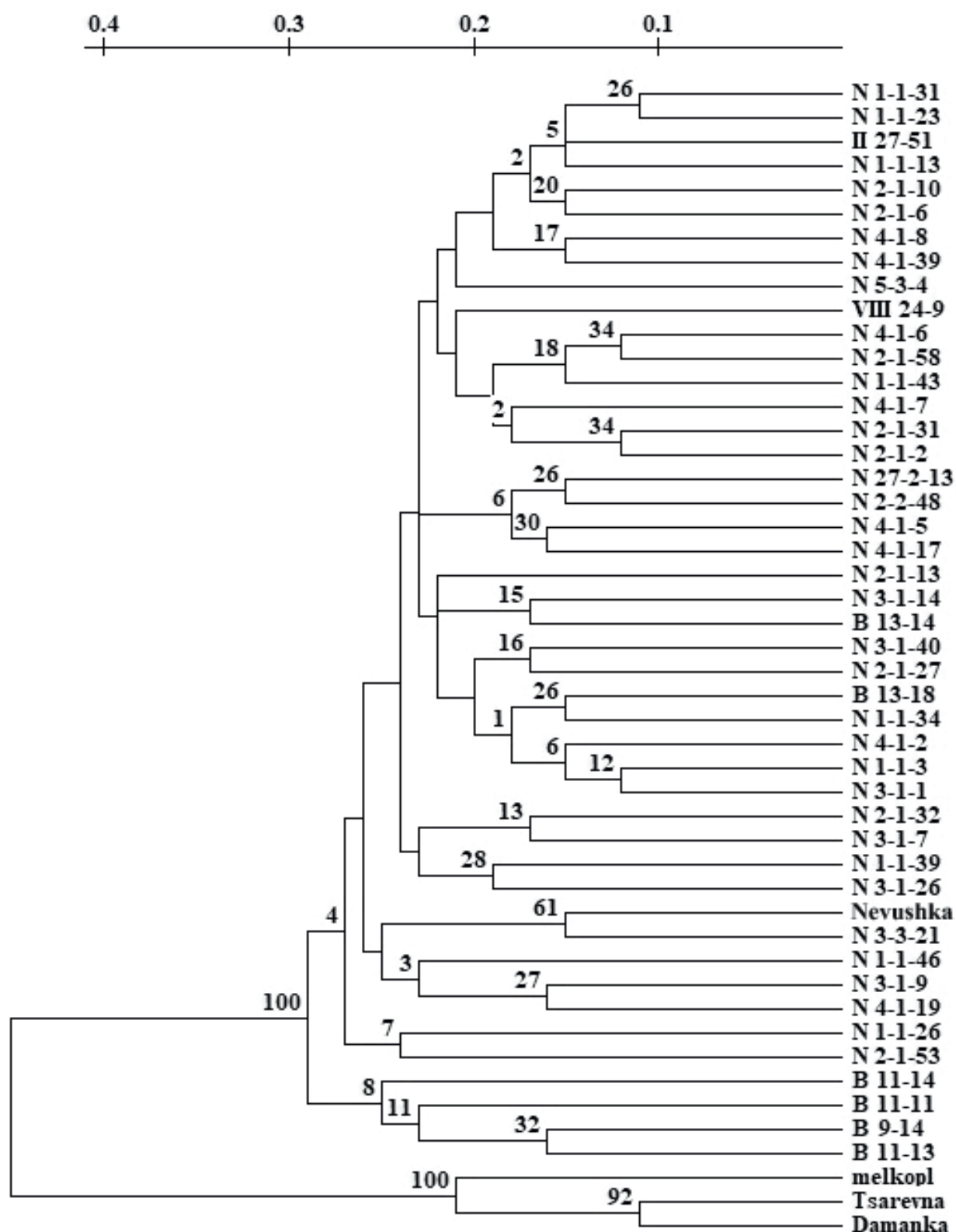


Рис. 2. UPGMA-дендрограмма, построенная по результатам использования 5 ISSR- и 2 RAPD-праймеров с бутстреп-индексами

Fig. 2. UPGMA dendrogram based on the results of using 5 ISSR и 2 RAPD primers with bootstrap indices

Слабая связь прослеживается с амплифицируемыми фрагментами длиной 850 пн праймера UBC 818 и зазубренностью края листовой пластинки. Наличие фрагмента длиной 850 пн всегда совпадало только с тупогородчатым краем листовой пластинки, но при этом из 21 генотипа тупогородчатым краем листовой пластинки ампликон проявился только в восьми случаях. Немного более тесная связь отмечена для праймера UBC 835 с амплифицируемыми фрагментами (ампликоны, бенды) длиной 1100 пн. Бенды проявились только у генотипов с ровной структурой поверхности косточки. Однако среди 19 образцов маркер отметил только 8. Можно также привести примеры с еще меньшей связью: 1) амплифицируемые фрагменты длиной 1400 пн праймера UBC 818 и признак очень плохого отрыва плода от плодоножки (из 6 случаев отмечен 1); 2) амплифицируемые фрагменты длиной 600 пн праймера UBC 818 и слаборезбистая поверхность косточки (из 13 случаев отмечено 3). Также частично наблюдается закономерность между наличием фрагментов длиной 920 пн праймера UBC 827 и сильнорослой или пирамидальной формой кроны, а отсутствие – со стланцевой формой кроны. Возможно, этот маркер и имеет более тесную связь с особенностями характера развития растений, но эти особенности могут неправильно трактоваться и вносить определенную путаницу. Для выяснения связи морфологических признаков габитуса растений с проявлением отдельных маркеров были выбраны модельные растения, по которым имеются наиболее достоверные представления об их особенностях становления и проявления габитуса.

Поочередное исключение или включение отдельных праймеров при статистическом анализе позволило установить, что праймеры OPA 02 и UBC 808 вносят наименьший вклад в идентификацию типа крон. Однако их парное исключение из расчетов не повысило качество груп-

пировки клад на UPGMA-дендрограмме и бутстреп-поддержку. При различных комбинациях маркеров прослеживается закономерность, когда первичным критерием кластеризации выступает географическое происхождение, а потом морфологические особенности (рис. 3). На субкластерном уровне наблюдается почти полное выделение в отдельную кладу генотипов из Хакасии, и только на следующем уровне кластеризации во второй кладе наблюдается группировка по их особенностям габитуса. В определении географического происхождения наименьший вклад внес также праймер OPA 02. Немного в большей степени, но также низкий вклад внесли праймеры OPA 07, UBC 823 и UBC 818. Выделение генотипа VIII 24-9 со стланцевой формой кроны челябинской популяции во внешнюю группу свидетельствует об иных более значимых признаках при кластеризации.

Различные комбинации праймеров для генотипов с разной формой и величиной плода не показали никакой зависимости при кластеризации.

Для морфологических признаков косточки удалось подобрать комбинации праймеров, максимально отражающие их распределение при кластеризации. Установлено, что самый большой вклад в группировку генотипов по признакам морфологии косточек обеспечил праймер UBC 823. Максимальная точность и бутстреп-поддержка получена при одновременном использовании праймеров OPA 07, UBC 818, UBC 823 и UBC 835 (рис. 4).

Как показали результаты кластеризации, группа с ребристой поверхностью косточки образована с наибольшей бутстреп-поддержкой.

С некоторыми генотипами иногда наблюдалась группировка по окраске мякоти, по форме листовой пластинки. Но добиться достоверной кластеризации по этому признаку не удалось, вероятно, по причине малой выборки маркеров и отсутствия генотипов, схожих по всем признакам, кроме окраски мякоти. По окраске плода (ге-

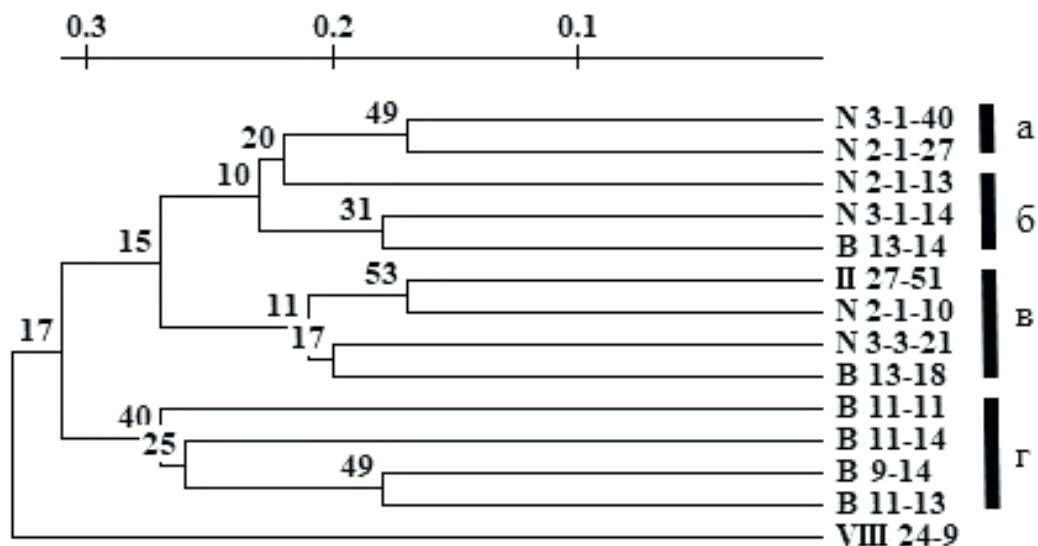


Рис. 3. UPGMA-дендрограмма модельных морфотипов *Prunus pumila* L., построенная без участия праймера OPA 02:

а) шаровидные плотнокустовые карлики; б) стланцы; в) пирамидальные и древовидные кустарники (генотипы из Хакасии отмечены в названии заглавной буквой «В»)

Fig. 3. UPGMA dendrogram of the model *Prunus pumila* L. morphotypes obtained without the use of the OPA 02 primer:

а) globular dense dwarf shrubs; б) procumbent shrubs; в) pyramidal shrubs and arbuscles (genotypes from Khakasia are marked with "B" in the names)

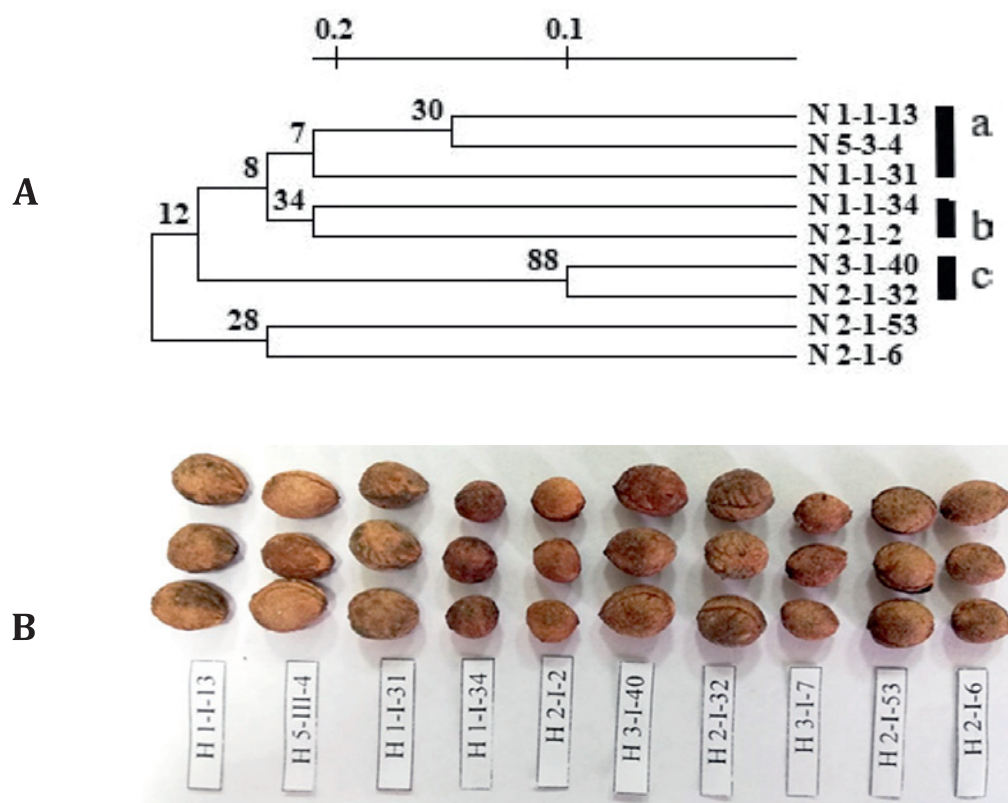


Рис. 4. Степень дифференциации генотипов *Prunus pumila* L. по морфологии косточек:
A – генетическая; B – морфологическая.

a – генотипы с вытянутым основанием косточки, **b** – генотипы с мелкой округлой косточкой,
c – генотипы с ребристой поверхностью косточки

Fig. 4. The degree of differentiation among *Prunus pumila* L. genotypes according to the stone morphology:
A – genetic, B – morphological.

a – genotypes with an attenuate stone base; **b** – genotypes with a small subglobose stone;
c – genotypes with a costate stone surface

нотипы Б 9-14 и Нёвушка – желтоплодные), степени отрыва плода от плодоножки и отделяемости мякоти от косточки также не удалось выявить зависимость кластеризации при подборе разных комбинаций использованных в работе праймеров.

Для включенных в исследование генотипов *P. pumila* получено 990 значений генетических дистанций: максимальное значение – 0,44, минимальное – 0,11.

Обсуждение результатов исследования

Несмотря на отсутствие достоверных генетических различий между изученными генотипами *P. pumila*, между образцами *P. tomentosa* генетические различия достоверны. Сорта 'Даманка' и 'Царевна' отличаются с высокой бутстреп-поддержкой от формы «мелкоплодная» (см. рис. 2.). Сорт 'Даманка' характеризуется темно-бордовой, почти черной окраской плодов, и из всех генотипов с такой окраской плодов это самый крупноплодный образец (по нашим данным – 2,70 г). Сорт 'Царевна' – один из самых крупноплодных известных сортов *P. tomentosa* (по нашим данным – 3,50 г) (рис. 5). Форма «мелкоплодная» – это генотип с самыми мелкими плодами из известных авторам генотипов (0,64 г). Это значение соотносится с минимальными значениями для вида по литературным данным (Gu et al., 2003). На основе полученных характеристик генотипа можно предположить, что он наиболее близок к диким родичам.

В соответствии с ранее проведенным исследованием (Lezin et al., 2019) изменчивости морфологических признаков плода выявлено, что в изучаемой интродукционной популяции отсутствует признак веретеновидной формы косточки, свойственный разновидности *depressa* в естественных местообитаниях. При этом разновидность *P. pumila* var. *susquehanae* Wildenow, занимающая схожий ареал с разновидностью *depressa*, но с иными экологическими условиями произрастания, также могла не принять участие в формировании культурной популяции *P. pumila*. Данные молекулярно-генетического анализа, не выявившие никакой генетической специфичности внутри вида *P. pumila*, позволяют сделать предположение, что в становлении культурной популяции могли принять участие только морфологически близкие и наиболее ценные в практическом использовании разновидности *besseyi* и *pumila*.

С помощью подбора генотипов и подбора праймеров удалось выявить, что в некоторых случаях наблюдается зависимость группировки генотипов по их морфологическим признакам. Следовательно, такие праймеры низко консервативны и могут иметь ценность при генетической паспортизации доноров хозяйственно ценных признаков и сортов *P. pumila*.

В селекционных целях представляет ценность поиск генотипов, сочетающих в себе высокие вкусовые и иные показатели качества плодов при компактном или пирамидальном типе кроны с прочными скелетными побега-

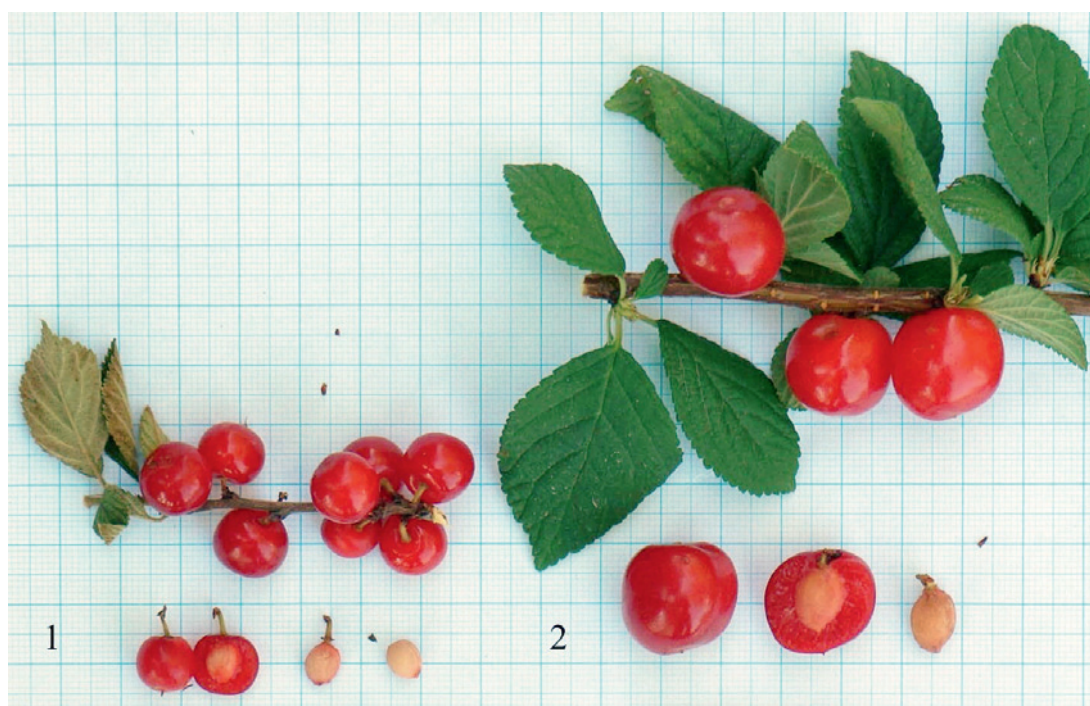


Рис. 5. Величина плода исследуемых форм и сортов *Prunus tomentosa* Thunb.: 1 – мелкоплодная; 2 – ‘Царевна’
Fig. 5. Fruit size in the studied forms and varieties of *Prunus tomentosa* Thunb.: 1 – small-fruited; 2 – ‘Tsarevna’

ми, обеспечивающими максимальную технологичность при уходе за насаждениями. Матрица генетических различий для выдающихся по рассмотренным признакам генотипов, рассчитанная в программе Past 3 (Gower), приведена в таблице 3.

Значения генетических различий желтоплодного генотипа Б 9-14 с выделенными по типу крон генотипами очень близки. Наименее перспективной в этом случае бу-

дет скрещивание с генотипом Б 13-18. В остальных случаях при гибридизации генотипов с требуемым типом кроны и соответствующим качеством плодов наиболее перспективной будет комбинация Б 11-11 × Н 3-3-21 с индексом 0,37. В комбинациях по улучшению качества плодов наиболее успешными будут комбинации Б 9-14 × Н 27-2-13, Б 11-11 × Б 13-14, Б 11-11 × Н 5-3-4, Б 11-11 × Н 2-2-48.

Таблица 3. Индексы генетического различия для перспективных пар скрещиваний

Table 3. Genetic distinction indices for promising pairs in crosses

Генотипы с необходимым типом кроны/качеством плодов	Генотип с хорошим качеством плодов и номер на электрофореграмме						
	Б 9-14 (1)	Б 11-11 (40)	Б 11-13 (41)	Б 13-14 (42)	Н 5-3-4 (43)	Н 27-2-13 (44)	Н 2-2-48 (45)
Б 13-18 (3)	0,24	0,28	0,24	0,24	0,16	0,25	0,19
Н 3-3-21 (4)	0,28	0,37	0,25	0,23	0,28	0,27	0,28
Н 27-51 (5)	0,29	0,25	0,19	0,19	0,21	0,17	0,19
Н 2-1-10 (6)	0,29	0,31	0,24	0,24	0,21	0,25	0,27
Б 11-11 (40)	0,28	0,00	0,17	0,31	0,31	0,29	0,31
Б 11-13 (41)	0,16	0,17	0,00	0,24	0,24	0,23	0,27
Б 13-14 (42)	0,24	0,31	0,24	0,00	0,24	0,28	0,24
Н 5-3-4 (43)	0,27	0,31	0,24	0,24	0,00	0,23	0,21
Н 27-2-13 (44)	0,31	0,29	0,23	0,28	0,23	0,00	0,15
Н 2-2-48 (45)	0,27	0,31	0,27	0,24	0,21	0,15	0,00

Заключение

Кластерный (UPGMA) анализ достоверно различает генотипы по видовой принадлежности (*P. pumila*, *P. tomentosa*). Все полученные клады в пределах вида *P. pumila* образованы с очень низкой бутстреп-поддержкой. Таким образом, различия групп недостоверны.

По результатам исследования не выявлено тесной связи отдельных фрагментов ISSR- и RAPD-маркеров с морфологическими признаками генотипов *P. pumila*. В некоторых случаях наблюдается группировка отдельных генотипов со схожими морфологическими признаками.

При различных комбинациях маркеров прослеживается закономерность, когда первичным критерием кластеризации выступает географическое происхождение, а потом – морфологические особенности.

На основе индексов генетического различия выделены перспективные пары для гибридизации на улучшение вкусовых качеств плодов: Б 9-14 × Н 27-2-13, Б 11-11 × Б 13-14, Б 11-11 × Н 5-3-4, Б 11-11 × Н 2-2-48. На улучшение вкусовых качеств плодов и типа кроны выделена перспективная комбинация для гибридизации Б 11-11 × Н 3-3-21 с наибольшим индексом генетического различия 0,37.

References / Литература

- Bortiri E., Oh S.H., Jiang J., Bagett S., Granger A., Weeks C. et al. Phylogeny and systematics of *Prunus* (Rosaceae) as determined by sequence analysis of ITS and the chloroplast trnL-trnF spacer DNA. *Systematic Botany*. 2001;26:797-807. DOI: 10.1043/0363-6445-26.4.797
- Catling P.M., McKay-Kuja S.M., Mitrow G. Rank and typification in North American dwarf cherries, and a key to the taxa. *Taxon*. 1999;48(3):483-488. DOI: 10.2307/1224559
- Eremin G.V. Remote hybridization of stone fruit plants (Otdalennaya gibrizatsiya kostochkovykh plodovykh rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Еремин Г.В. Отдаленная гибридизация косточковых плодовых растений. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Eremin G.V., Yushev A.A., Novikova L.N. The investigation of the species of the genus *Microcerasus* Webb emend Spach in connection with their utilization in breeding. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1979;65(3):70-86. [in Russian] (Еремин Г.В., Юшев А.А., Новикова Л.Н. Исследование видов рода *Microcerasus* Webb emend Spach в связи с их селекционным использованием. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1979;65(3):70-86).
- Flora of North America: North of Mexico. Vol. 9. Magnoliophyta: Picramniaceae to Rosaceae. Oxford, UK: Oxford University Press; 2016.
- Gu C., Li C., Lu L., Jiang S., Alexander C., Bartholomew B., Brach A.R., Boufford D.E., Ikeda H., Ohba H., Robertson K.R., Spongberg S.A. Rosaceae A. L. Jussieu. In: Wu Z.Y., Raven P.H., Hong D.Y. (eds). *Flora of China*. Vol. 9 (*Pittosporaceae through Connaraceae*). Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press; 2003. p.46-434.
- Hansen N.E. The western sand cherry. Brookings, SD: South Dakota Agricultural College Experiment Station; 1904.
- Krška B., Oukropec I., Mařák J. The possibilities of propagation of the rootstock of *Prunus pumila* L. 'Pumiselekt' by hardwood cuttings. *Acta Horticulturae*. 2002;658:647-649. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.658.98
- Lezin M.S., Simagin V.S., Lokteva A.V. Specific features in the expression intraspecies variability of *Prunus pumila* fruits in Chelyabinsk Province in the process of introduction. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):82-90. [in Russian] (Лёзин М.С., Симагин В.С., Локтева А.В. Особенности проявления внутривидовой изменчивости плодов *Prunus pumila* в Челябинской области при интродукционном процессе. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(3):82-90). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-82-90
- Merker V.V. Invasive and potentially invasive species of dendroflora of introduced the Chelyabinsk area. In: *Integration of botanical research and education: traditions and prospects: Proceedings of the International Scientific Conference devoted to the 125th anniversary of the Department of Botany (Integratsiya botanicheskikh issledovaniy i obrazovaniya: traditsii i perspektivy. Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 125-letiyu kafedry botaniki)*. Tomsk: Tomsk State University; 2013. p.115-117. [in Russian] (Меркер В.В. Инвазивные и потенциально инвазивные виды интродуцированной дендрофлоры Челябинской области. В кн.: Интеграция ботанических исследований и образования: традиции и перспективы. Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию кафедры ботаники. Томск: Томский государственный университет; 2013. С.115-117).
- Mowrey B.D., Werner D.J. Phylogenetic relationships among species of *Prunus* as inferred by isozyme markers. *Theoretical and Applied Genetics*. 1990;80(1):129-133. DOI: 10.1007/bf00224026
- Nei M., Li W.H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1979;76(10):5269-5273. DOI: 10.1073/pnas.76.10.5269
- Nizhnikov V.S. On the taxonomy of *Cerasus pumila* (L.) Michx. and *C. besseyi* (Bailey) Lunell (Rosaceae) (O taksonomii *Cerasus pumila* (L.) Michx. i *C. besseyi* (Bailey) Lunell (Rosaceae)). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 1977;62(4):533-536. [in Russian] (Нижников В.С. О таксономии *Cerasus pumila* (L.) Michx. и *C. besseyi* (Bailey) Lunell (Rosaceae). Ботанический журнал. 1977; 62(4):533-536).
- Putov V.S., Puchkin I.A. *Cerasus besseyi* (Bailey) Lunell for breeding clone stocks of plum in Western Siberia (Vishnya peschanaya dlya selektsii klonovykh podvoev slivy v Zapadnoy Sibiri). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry*. 1982;123:48-50. [in Russian] (Путов В.С., Пучкин И.А. Вишня песчаная для селекции клоновых подвоев сливы в Западной Сибири. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. 1982;123:48-50).
- Rohrer J.R. The sand cherry in Wisconsin and neighboring States. *The Michigan Botanist*. 2000;39(4):59-69.
- Salamatov M.N. Cherries in Western Siberia (Vishnya v Zapadnoy Sibiri). Novosibirsk; 1959. [in Russian] (Саламатов М.Н. Вишня в Западной Сибири. Новосибирск; 1959).
- Shimada T., Hayama H., Nishimura K., Yamaguchi M., Yoshida M. The genetic diversities of 4 species of subgenus *Lithocerasus* (*Prunus*, Rosaceae) revealed by

RAPD analysis. *Euphytica*. 2001;117:85-90. DOI: 10.1023/A:1004193327542

Simagin V.S. Introduction research results on stone fruit plants (Itogi introduktsionnykh issledovaniy po kostochkovym plodovym rasteniyam). In: I.Yu. Koropachinskii, A.B. Gorbunov (eds). *Introduction of unconventional fruit, berry and vegetable plants in Western Siberia (Introduktsiya netraditsionnykh plodovykh, yagodnykh i ovoshchnykh rasteniy v Zapadnoy Sibiri)*. Novosibirsk: GEO; 2013. p.8-23. [in Russian] (Симагин В.С. Итоги интродукционных исследований по косточковым плодовым культурам. В кн.: *Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири* / под ред. И.Ю. Коропачинского, А.Б. Горбунова. Новосибирск: GEO; 2013. С.8-23).

Skvortsov AK, Kramarenko LA. The apricot in Moscow and Moscow Province (Abrikos v Moskve i Podmoskovye).

Moscow: KMK; 2007. [in Russian] (Скворцов А.К., Крамаренко Л.А. Абрикос в Москве и Подмосковье. Москва: КМК; 2007).

Van de Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: software for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Bioinformatics*. 1994; 10(5):569-570. DOI: 10.1093/bioinformatics/10.5.569

Yushev AA. Volume and systematics of the genus *Cerasus* Mill. as well as breeding use of specific potential in cherries. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1992;146:16-26. [in Russian] (Юшев А.А. Объем и систематика рода *Cerasus* Mill. и селекционное использование видового потенциала вишен. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1992;146:16-26).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Лёзин М.С., Асбаганов С.В. Морфологический и генетический полиморфизм интродукционной популяции *Prunus pumila* L. в Челябинской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):142-152. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-142-152

Lezin M.S., Asbaganov S.V. Morphological and genetic polymorphism of the introduced population of *Prunus pumila* L. in Chelyabinsk Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):142-152. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-142-152

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-142-152>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Lezin M.S. <https://orcid.org/0000-0002-1422-4983>

Asbaganov S.V. <https://orcid.org/0000-0002-7482-7495>

Устойчивость ячменя к мучнистой росе на юге Дагестана

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-153-156

УДК 633.16:632.938

Поступление/Received: 26.05.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



Powdery mildew resistance of barley in Southern Dagestan

Б. А. БАТАШЕВА¹, Р. А. АБДУЛЛАЕВ², О. Н. КОВАЛЕВА²,
И. А. ЗВЕЙНЕК², Е. Е. РАДЧЕНКО²B. A. BATASHEVA¹, R. A. ABDULLAEV², O. N. KOVALEVA²,
I. A. ZVEINEK², E. E. RADCHENKO²¹ Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
Дагестанская опытная станция – филиал ВИР,
368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район,
с. Вавилово

✉ kostek-kum@rambler.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ abdullaev.1988@list.ru¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
Dagestan Experimental Station of VIR,
Vavilovo Village, Derbentsky District,
Republic of Dagestan
368612, Russia

✉ kostek-kum@rambler.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ abdullaev.1988@list.ru

Актуальность. Наиболее эффективный способ защиты урожая сельскохозяйственных культур от болезней – возделывание устойчивых сортов. Гидротермический режим южно-плоскостной зоны Дагестана благоприятствует поражению растений ячменя возбудителем мучнистой росы. Наблюдаемый ежегодно высокий уровень развития болезни позволяет достоверно оценить устойчивость коллекционных образцов к патогену.

Материал и методика. Материалом для исследований служил 1361 образец ячменя (570 – селекционные сорта, 791 – образцы местного ячменя) разного эколого-географического происхождения и типа развития. Полевые опыты закладывали в один срок при озимом посеве. Устойчивость растений к мучнистой росе оценивали в период колошения и в фазу молочной спелости зерна с помощью балловой шкалы. Каждый образец изучали не менее трех лет.

Результаты и выводы. Результаты многолетнего изучения ячменя культурного свидетельствуют о существенной внутривидовой изменчивости коллекционных образцов по устойчивости к патогену. Значительная часть исследованного материала (63,1%) восприимчива к мучнистой росе. Частота устойчивых к болезни образцов составляет 11,0%, среднеустойчивых – 25,9%. Среди местных ячменей выявлено четыре устойчивых образца из Абиссинского, Переднеазиатского и Средиземноморского центров происхождения культуры. Для использования в селекции на иммунитет рекомендуются 17 сортов (преимущественно из стран Западной Европы), характеризующихся высоким уровнем устойчивости к дагестанской популяции возбудителя мучнистой росы.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, резистентность, селекция растений.

Background. The most effective way of protecting crops from diseases and pests is the breeding and cultivation of resistant varieties. The hydrothermal regime in the southern plains of Dagestan favors damage to barley plants by the causative agent of powdery mildew. The high level of disease progress observed annually helps to reliably assess the resistance of collection accessions to the pathogen.

Materials and methods. The research material included 1361 barley accessions (570 improved cultivars and 791 landraces) of different ecogeographic origin and growth habit. Field experiments were launched concurrently with winter sowing. Powdery mildew resistance was scored during the heading period and in the milk ripeness phase using a point scale. Each accession was assessed for at least three years.

Results and conclusions. The results of a long-term study disclosed a significant intraspecific variability of barley collection accessions in their resistance to powdery mildew. A significant part of the studied barley accessions (63.1%) appeared susceptible to the pathogen. The occurrence frequency of disease-resistant accessions was 11.0%, while those with medium resistance reached 25.9%. Among the landraces, four resistant accessions from the Abyssinian, West Asian and Mediterranean centers of crop origin were identified. Seventeen barley varieties resistant to powdery mildew (predominantly originated from Western Europe) are recommended for use in breeding for immunity.

Key words: *Hordeum vulgare* L., *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*, resistance, plant breeding.

Введение

Мучнистая роса (возбудитель *Blumeria graminis* (DC.) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Marchal) – одна из наиболее

вредоносных болезней ячменя, которая, прямо и косвенно воздействуя на растения, вызывает снижение продуктивности растений и качества зерна. У пораженных растений уменьшается ассимиляционная по-

верхность, разрушаются фотосинтезирующие ткани, нарушается нормальный ход транспирации и оттока питательных веществ, возрастает интенсивность дыхания.

Наиболее экологически безопасный и экономически выгодный способ борьбы с болезнью – возделывание устойчивых сортов. Для селекции необходим постоянный поиск новых доноров устойчивости, поскольку в результате возникновения и накопления мутаций вирулентности в популяциях патогена гены резистентности растений теряют эффективность. Известно свыше 100 генов, контролирующих устойчивость ячменя к мучнистой росе, большая часть которых являются аллельными вариантами генов *Mla* и *Mlo*. К сожалению, большинство аллелей неэффективны против возбудителя заболевания. Длительную устойчивость к патогену сортов ячменя практически во всем мире обеспечивают ген *mlo11* и отчасти *mlo9* (Radchenko et al., 2020).

Гидротермический режим южно-плоскостного Дагестана (г. Дербент) благоприятствует развитию мучнистой росы. Наблюдаемый ежегодно высокий уровень естественного инфекционного фона позволяет достоверно оценить устойчивость образцов ячменя к возбудителю болезни в полевых условиях (Batasheva et al., 2018). Близость моря с восточной стороны и ограниченность горами с запада, а также орошаемое земледелие создают особый микроклимат, благоприятствующий развитию патогенной микрофлоры. Мучнистая роса проявляется рано весной, когда растения ячменя находятся в фазе кущения, а второй пик наблюдается в период колошения, когда болезнь поражает лист, листовое влагалище, стебель, а в отдельные годы и колос.

Цель работы – изучить разнообразие ячменя культурного (*Hordeum vulgare* L.) по устойчивости к мучнистой росе в условиях орошаемого земледелия Южного Дагестана.

Материалы и методы

Исследования выполнены в 1997–2014 гг. на юге Дагестана на полях Дагестанской опытной станции – филиала ВИР (ДОС ВИР, Дербентский район). На естественном инфекционном фоне в полевых условиях изучен 1361 образец *H. vulgare* (570 – селекционные сорта, 791 – образцы местного ячменя) разного эколого-географического происхождения и типа развития из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Каждый образец изучали не менее трех лет, при этом устойчивость оценивали по максимальному поражению растений патогеном за период проведения исследований.

При изучении коллекции руководствовались «Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса» (Loskutov et al., 2012). Опыты закладывали в один срок при озимом посеве в третьей декаде октября. Посев проводили вручную, каждый образец высевали на делянке площадью 1 кв. м, междурядья – 15 см, длина рядка – 1 м, расстояние между делянками – 30 см.

Устойчивость растений к мучнистой росе оценивали в период колошения и в фазе молочной спелости зерна с помощью шкалы:

1 – устойчивость очень низкая – пустулы в изобилии покрывают все листья и междоузлия, в том числе верхние; поражение может захватить и колос;

3 – низкая – пустулы в массе развиваются главным образом на нижних листьях и междоузлиях, верхний ярус листьев – отдельные рассеянные пятна;

5 – средняя – умеренное количество пустул на листьях и междоузлиях нижнего яруса;

7 – высокая – единичные мелкие пустулы на листьях и междоузлиях нижнего яруса, пустулы могут быть и более многочисленные, но мелкие, в виде слабого налета;

9 – очень высокая – поражение отсутствует.

Результаты и обсуждение

Многолетняя оценка устойчивости ячменя к *B. graminis* свидетельствует о широком внутривидовом полиморфизме культуры по изученному признаку. Значительная часть коллекции (859 образцов, или 63,1%) восприимчива к мучнистой росе (поражение растений составляет 1–3 балла). Высокий уровень устойчивости (7–9 баллов) выявлен у 150 изученных форм (11,0%), среднеустойчивы (5 баллов) 352 образца (25,9%).

Одним из механизмов значительной внутривидовой изменчивости ячменя по устойчивости к патогену является широкая представленность *H. vulgare* различными эколого-географическими группами (Batasheva, Al'derov, 2009). При изучении эколого-географической приуроченности признака особую ценность представляют сформировавшиеся в результате длительного естественного и искусственного отборов на фоне определенных биотических и абиотических факторов среды образцы местного ячменя, прошедшие длительное становление в конкретных почвенно-климатических условиях той или иной географической зоны.

Изученные нами образцы местного ячменя по своему происхождению охватывают все основные центры происхождения культуры по Н.И. Вавилову (Vavilov, 1987). Шире были представлены Переднеазиатский, Средиземноморский и Европейско-Сибирский генцентры.

Лишь четыре образца местного ячменя из 791 изученных (к-7105, Эфиопия; к-23787, РФ, Дагестан; и-550852, и-550856, Сирия) обладали высокой (балл 7) устойчивостью к патогену (табл. 1). Восприимчивостью к болезни характеризуются многие образцы из стран Восточной, Центральной и Передней Азии, где зачастую возделывают стародавние ячмени.

Н.И. Вавилов считал, что иммунитет вырабатывается только в тех условиях, которые способствуют развитию инфекции (Vavilov, 1964). По мнению М. S. Wolfe и J. M. McDermott (1994), вероятный центр происхождения *B. graminis* f. sp. *hordei* – страны Средиземноморья и Ближний Восток. В наших опытах устойчивые образцы происходят из Передней Азии, Средиземноморья и Эфиопии. Более масштабное исследование устойчивости коллекции ячменей Эфиопии (925 образцов) к северо-западной (Санкт-Петербург, Пушкин) популяции гриба позволило выявить 27 устойчивых образцов, а 47 оказались гетерогенными по изучаемому признаку (Abdullaev et al., 2019).

В результате многолетнего исследования 570 селекционных сортов ячменя нами выделены 17 образцов, характеризующихся высокой устойчивостью (отсутствие симптомов поражения, 9 баллов) к мучнистой росе (табл. 2). Уровень устойчивости 129 сортов был несколько ниже (7 баллов). Большая часть сортов поступила в коллекцию ВИР из стран, где наиболее «продвинута» селекция культуры.

Таблица 1. Устойчивость образцов местного ячменя из различных центров происхождения культуры к мучнистой росе**Table 1.** Powdery mildew resistance of barley landraces from various centers of crop origin

Происхождение образцов	Изучено образцов	Распределение образцов по баллам устойчивости, шт. / %			
		1	3	5	7
Абиссинский центр	9	7 / 77,8	–	1 / 11,1	1 / 11,1
Переднеазиатский центр	334	98 / 29,4	92 / 27,5	143 / 42,8	1 / 0,3
Среднеазиатский центр	25	23 / 92,0	2 / 8,0	–	–
Восточноазиатский центр	26	21 / 80,8	3 / 11,5	2 / 7,7	–
Средиземноморский центр	254	118 / 46,5	90 / 35,4	44 / 17,3	2 / 0,8
Европейско-Сибирский центр	133	85 / 63,9	45 / 33,8	3 / 2,3	–
Новосветский центр	10	7 / 70,0	2 / 20,0	1 / 10,0	–

Таблица 2. Сорта ячменя, устойчивые к мучнистой росе в Южном Дагестане**Table 2.** Barley varieties resistant to powdery mildew in Southern Dagestan

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Разновидность <i>Hordeum vulgare</i> L.
Яровые сорта			
29629	Дивный	РФ, Ростовская обл.	<i>nutans</i>
30591	Рахат	РФ, Московская обл.	«
30623	Белгородец	РФ, Белгородская обл.	«
30371	Scarlett	Германия	«
30821	Annabel	Германия	«
30563	Adur	Франция	«
30564	Piramid	Франция	«
30402	Polygena	Эстония	«
30405	Trebon	Эстония	«
30836	Лотос	Украина	«
Озимые сорта			
29721	Wysor	США	<i>japonicum</i>
30757	Callao	США	<i>parallelum</i>
30798	Уши	Германия	«
30783	Punch	Германия	<i>nutans</i>
30185	Kimono	Франция	<i>pallidum</i>
30495	Akmee	Франция	«
30476	Novosadski 183	Югославия	<i>nutans</i>

Выводы

Выявлен значительный внутривидовой полиморфизм ячменя по устойчивости к *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*.

В результате изучения 791 образца местного ячменя разного эколого-географического происхождения и типа развития выделены образцы к-7105, Эфиопия; к-23787, РФ, Дагестан; и-550852, и-550856, Сирия, которые очень слабо поражались патогеном.

Среди 570 селекционных сортов ячменя выявлены 17 образцов без симптомов поражения патогеном, которые могут быть рекомендованы для использования в селекции на иммунитет.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and grain crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production."

References / Литература

- Abdullaev R.A., Lebedeva T.V., Alpatieva N.V., Yakovleva O.V., Kovaleva O.N., Radchenko E.E., Anisimova I.N., Batasheva B.A., Karabitsina Yu.I., Kuznetsova E.B. Genetic diversity of barley accessions from Ethiopia for powdery mildew resistance. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;45(3):232-235. DOI: 10.3103/S1068367419030029
- Batasheva B.A., Abdullaev R.A., Radchenko E.E., Kovaleva O.N., Zveynek I.A., Muslimov M.G., Arnautova G.I. Ecological-geographic principles of barley tolerance to fungal diseases. *Problemy razvitiya APK regiona = Problems of Development of the Agro-Industrial Complex of the Region*. 2018;4(36):26-32. [in Russian] (Баташева Б.А., Абдуллаев Р.А., Радченко Е.Е., Ковалева О.Н., Звейнек И.А., Муслимов М.Г., Арнаутова Г.И. Эколого-географическая приуроченность устойчивости ячменя к грибным болезням. *Проблемы развития АПК региона*. 2018;4(36):26-32. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2018.4.26)
- Batasheva B.A., Al'derov A.A. Intraspecific diversity of common barley resistance to fungal diseases most widespread in southern Dagestan. *Russian Agricultural Sciences*. 2009;35(3):150-152. DOI: 10.3103/S1068367409030057
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidance for studying and maintaining VIR's collections of barley and oat. 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).
- Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Anisimova I.N. Genetic diversity of cereal crops for powdery mildew resistance. *Ecological Genetics*. 2020;18(1):59-78. [in Russian] (Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к мучнистой росе. *Экологическая генетика*. 2020;18(1):59-78). DOI: 10.17816/ecogen14530
- Vavilov N.I. Laws of natural plant immunity to infectious diseases (Keys to finding immune forms) (Zakony yestestvennogo immuniteta rasteniy k infektsionnym zabolovaniyam [Klyuchi k nakhozhdeniyu immunnykh form]). In: N.I. Vavilov. *Selected works in five volumes. Vol. 4. Problems of crop immunity* (N.I. Vavilov. *Izbrannye trudy v pyati tomakh. T. 4. Problemy immuniteta kulturnykh rasteniy*). Moscow; Leningrad: Nauka; 1964. p.430-488. [in Russian] (Вавилов Н.И. Законы естественного иммунитета растений к инфекционным заболеваниям (Ключи к нахождению иммунных форм). В кн.: Н.И. Вавилов. *Избранные труды. Т. 4. Проблемы иммунитета культурных растений*. Москва; Ленинград: Наука; 1964. С.430-488).
- Vavilov N.I. Origin and geography of cultivated plants (Proiskhozhdeniye i geografiya kulturnykh rasteniy). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Ленинград: Наука; 1987).
- Wolfe M.S., McDermott J.M. Population genetics of plant pathogen interactions: the example of the *Erysiphe graminis-Hordeum vulgare* pathosystem. *Annual Review of Phytopathology*. 1994;32(1):89-113. DOI: 10.1146/annurev.py.32.090194.000513

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Баташева Б.А., Абдуллаев Р.А., Ковалева О.Н., Звейнек И.А., Радченко Е.Е. Устойчивость ячменя к мучнистой росе на юге Дагестана. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):153-156. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-153-156

Batasheva B.A., Abdullaev R.A., Kovaleva O.N., Zveinek I.A., Radchenko E.E. Powdery mildew resistance of barley in Southern Dagestan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):153-156. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-153-156

ORCID

Batasheva B.A. <https://orcid.org/0000-0002-2266-281X>

Abdullaev R.A. <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

нек И.А., Муслимов М.Г., Арнаутова Г.И. Эколого-географическая приуроченность устойчивости ячменя к грибным болезням. *Проблемы развития АПК региона*. 2018;4(36):26-32. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2018.4.26

Batasheva B.A., Al'derov A.A. Intraspecific diversity of common barley resistance to fungal diseases most widespread in southern Dagestan. *Russian Agricultural Sciences*. 2009;35(3):150-152. DOI: 10.3103/S1068367409030057

Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidance for studying and maintaining VIR's collections of barley and oat. 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).

Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Anisimova I.N. Genetic diversity of cereal crops for powdery mildew resistance. *Ecological Genetics*. 2020;18(1):59-78. [in Russian] (Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к мучнистой росе. *Экологическая генетика*. 2020;18(1):59-78). DOI: 10.17816/ecogen14530

Vavilov N.I. Laws of natural plant immunity to infectious diseases (Keys to finding immune forms) (Zakony yestestvennogo immuniteta rasteniy k infektsionnym zabolovaniyam [Klyuchi k nakhozhdeniyu immunnykh form]). In: N.I. Vavilov. *Selected works in five volumes. Vol. 4. Problems of crop immunity* (N.I. Vavilov. *Izbrannye trudy v pyati tomakh. T. 4. Problemy immuniteta kulturnykh rasteniy*). Moscow; Leningrad: Nauka; 1964. p.430-488. [in Russian] (Вавилов Н.И. Законы естественного иммунитета растений к инфекционным заболеваниям (Ключи к нахождению иммунных форм). В кн.: Н.И. Вавилов. *Избранные труды. Т. 4. Проблемы иммунитета культурных растений*. Москва; Ленинград: Наука; 1964. С.430-488).

Vavilov N.I. Origin and geography of cultivated plants (Proiskhozhdeniye i geografiya kulturnykh rasteniy). Leningrad: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Ленинград: Наука; 1987).

Wolfe M.S., McDermott J.M. Population genetics of plant pathogen interactions: the example of the *Erysiphe graminis-Hordeum vulgare* pathosystem. *Annual Review of Phytopathology*. 1994;32(1):89-113. DOI: 10.1146/annurev.py.32.090194.000513

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-153-156>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

Kovaleva O.N. <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Zveinek I.A., <https://orcid.org/0000-0003-2266-6408>

Radchenko E.E. <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Влияние температурных режимов хранения семян сосны и ели на всхожесть и зараженность патогенными грибами

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-157-167

УДК. 630.3:632:58

Поступление/Received: 30.03.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

М. А. НИКОЛАЕВА^{1*}, Е. Ю. ВАРЕНЦОВА¹, Г. Ф. САФИНА²

¹ Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет,
194021 Россия, г. Санкт-Петербург,
Институтский пер., 5

* ✉ marin.nikol_1060@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ g.safina52@gmail.com

The impact of temperature patterns during storage of Scots pine and Norway spruce seeds on their germination and fungal infection rates

М. А. NIKOLAEVA^{1*}, Е. YU. VARENTSOVA¹, G. F. SAFINA²

¹ St Petersburg State Forest
Technical University,
5 Institutsky Lane,
St. Petersburg 194021, Russia;
* ✉ marin.nikol_1060@mail.ru

² N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia;
✉ g.safina52@gmail.com

Актуальность. Одним из путей решения проблемы сохранения генофонда лесообразующих видов является сохранение качественного семенного материала *ex situ*. Результаты исследований могут быть использованы в областях науки, связанных с лесным семеноводством и лесной фитопатологией.

Материалы и методы. Исследовали семена, относящиеся к ортодоксальному типу – *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* (L.) Karst. разных лет заготовки (1996–2011 гг.), заложенные на хранение в 2011 г. при разных температурных режимах: +20°C, +4°C, –18°C и в парах жидкого азота (–182°C). Перед закладкой образцы семян были подсушены до влажности 4,2–4,4% и герметично упакованы. Всхожесть семян определяли перед закладкой на хранение, спустя 3 года, 5 и 8 лет. Определены зараженность семян и состав патогенных грибов.

Результаты. За восьмилетний срок хранения при температуре +20°C потеря всхожести семян сосны и ели, в зависимости от партии и года заготовки, составила от 13 до 60%. Хранение при –18°C и –182°C препятствует заражению и позволяет максимально сохранить посевные качества семян. В большинстве случаев энергия прорастания и всхожесть отрицательно коррелировали с уровнем зараженности семян. Биоразнообразие патогенных (плесневых) грибов на поверхности семян установлено на уровне 10 родов; наиболее часто встречаются: *Aspergillus* P. Micheli, *Penicillium* Link, *Rhizopus* Ehrenb., *Scopulariopsis* Bainier.

Заключение. Показана успешность хранения семян при режимах низких и сверхнизких температур. Условия криоконсервации рекомендуются для долгосрочного хранения селекционно улучшенных и ценных семян.

Ключевые слова: низкотемпературное хранение, криоконсервация, хвойные породы, качество семян, патогенная микобиота.

Relevance of the study. One of the ways to maintain the genetic diversity of forest-forming species is to preserve high-quality seed material *ex situ*. However, the relationship between the diversity of pathogenic mycobiota and the duration and methods of forest tree seed storage remains underexplored. The results of research into this problem can be used in forest seed production and forest phytopathology.

Materials and methods. For our study we used seeds of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. of the orthodox type, harvested in the period of 1996–2011 and stored under different temperatures: +20°C, +4°C, –18°C, and in liquid nitrogen vapor (–182°C) since 2011. Prior to their storage, seed samples were dried to a moisture content of 4.2–4.4% and hermetically packed. Seed germination was tested before and after three, five and eight years of storage, following GOST 13056.6-97 standards. The level of seed infection and the composition of pathogenic fungi were assessed.

Results. After eight years of storage at +20°C, pine and spruce seed germination capacity decreased by 13–60%, depending on the year of harvesting. Seed storage at –18°C and –182°C allowed us to prevent seed infection and preserve seed viability. In most cases, the germination energy and germination capacity were negatively correlated with the level of seed infection. The diversity of pathogenic (mold) fungi on the surface of seeds was represented by ten genera; the most common were saprotrophs: *Aspergillus* P. Micheli, *Penicillium* Link, *Rhizopus* Ehrenb., *Scopulariopsis* Bainier.

Conclusion. At the present stage of research, the success of seed storage at low and ultralow temperatures was demonstrated. We recommend cryopreservation for the long-term storage of improved and valuable seeds.

Key words: low-temperature storage, cryopreservation, coniferous tree species, seed quality, pathogenic mycobiota.

Введение

Корифей лесной науки проф. М. М. Орлов в далеком 1918 г. писал: «Берегите русские леса! <...> Не преувеличивайте лесного богатства России» (Orlov, 1918, p. 1 и 132). В XXI веке продолжают снижаться возрасты рубок, на смену ценным лесам приходят второстепенные, лесокультурные работы ежегодно требуют сотни килограммов дорогостоящих семян. Периодичность урожайных лет хвойных пород и нехватка местных семян зачастую приводят к практике использования низкосортных и нерайонированных семян, что негативно отражается на устойчивости создаваемых насаждений. Принимая во внимание огромную экономическую роль лесов, учитывая расширение зон экологических бедствий, сохранение лесных ресурсов страны остается серьезной и нерешенной проблемой.

Одним из способов сохранения генофонда основных лесобразующих видов является хранение семенного материала *ex situ*. Длительность хранения семян в жизнеспособном состоянии в значительной мере зависит от влажности и температуры хранения (Verzhuk et al., 2012). Семена, относящиеся к ортодоксальной категории, можно высушивать до низкого уровня влажности (менее 10%) и длительное время успешно хранить при температуре ниже точки замерзания. В большинстве развитых стран ортодоксальные семена, подсушенные и герметично упакованные, хранятся при температурах в пределах от -1°C до -20°C . Так, в Швеции оптимальный режим хранения семян сосны и ели: влажность семян – 5,7%; температура в холодильной камере – от -5°C до -20°C при колебаниях не более $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Gladsy et al., 2004). В Forest Gene Bank Kostrzyca (Польша) семена ели европейской хранятся при температуре -20°C (Suszka et al., 2005). В 2007 г. в г. Пушкино под Москвой основан Федеральный фонд семян хвойных пород, организаторы которого полагают, что при температуре -18°C семена без потери качества можно хранить до 30 лет; однако целью его создания является обеспечение воспроизводства лесов в стране только в случае чрезвычайных ситуаций (пожаров, вспышек массового размножения насекомых-вредителей и т. п.) (Concept of the Federal Target Program..., 2008). В Норвегии на о. Свальбард (архипелаг Шпицберген), в условиях вечной мерзлоты, где температура не поднимается выше $-3,5^{\circ}\text{C}$, в крупнейшем в мире хранилище коллекции семян хранятся в камерах с поддерживаемой постоянной температурой -18°C (For grateful descendants..., 2008).

J. D. Simpson et al. (2004) приводят данные о долгосрочном хранении семян в Национальном центре семян древесных пород (National Tree Seed Centre) в Канаде. Всхожесть семян *Picea glauca* (Moench) Voss, хранившихся в течение 24 лет при -20°C и влажности менее 10%, осталась на прежнем уровне; данные о всхожести семян видов ели (*Picea glauca*, *P. mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb., *P. rubens* Sarg., *P. sitchensis* (Bong.) Carr.) и сосны (*Pinus banksiana* Lamb., *P. contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm., *P. resinosa* Ait.) со сроком хранения 30 лет и более показали, что при соблюдении условий хранения функциональная способность этих семян к сохранению всхожести на уровне не менее 60% может достигать 100 лет; отмечено, что долговечность лесных семян при хранении прямо пропорциональна их качеству.

Результаты 29-летних исследований В. Suszka et al. (2005) указывают на очень высокую жизнеспособность семян ели европейской; заготовленные в Германии (Hoch-

sauerland) семена, подсушенные и обезвоженные, хранились в герметичной упаковке в течение первых 16 лет при температуре -5°C ÷ -6°C , затем в Польше при -3°C ; отмечено безупречное качество семян перед закладкой на хранение; спустя 8 лет после начала опыта всхожесть составляла 98%, через 16 лет – 89%, к концу опыта – 83%.

Длительное и надежное хранение ценных семян требует еще более низких температур. Даже при -130°C в мембранах растительных клеток возможны процессы кристаллизации и перекристаллизации, исключающие долгосрочное хранение замороженного материала; ввести семена в состояние полного анабиоза возможно при криогенном хранении в среде жидкого азота при -196°C , когда все процессы метаболизма в клетках прекращаются (Orekhova, 2010). Криохранилище признано перспективным инструментом длительного хранения семян лесных пород; главный его принцип – сохранение растительного материала в жизнеспособной, но не активной стадии (Gantait et al., 2016).

В результате быстрого погружения семян сосны (*Pinus canariensis* C. Sm., *P. halepensis* Mill., *P. nigra* Arnold, *P. pinaster* Aiton, *P. sylvestris* L., *P. uncinata* Ramond ex DC.) в жидкий азот (-196°C) и 4-дневного хранения в условиях криоконсервации различия в прорастании и всхожести семян до и после замораживания не выявлены (Sanz et al., 1998). Изучение устойчивости семян (*Picea glauca* × *engelmannii* complex, *Pinus contorta*, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco и *Thuja plicata* Donn ex D. Donn) с разной степенью влажности к замораживанию при -196°C в течение трех часов показало преимущество семян сухих, в сравнении со стратифицированными, набухшими и проросшими, то есть семена хвойных пород способны выдерживать экстремально низкие температуры, но с повышением влажности они становятся более уязвимыми к быстрому замораживанию (Hawkins et al., 2003).

Во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) накоплен богатый опыт по хранению семян плодовых и ягодных культур (Safina, 2008; Verzhuk et al., 2012). Существующие способы долгосрочного хранения семян в настоящее время теоретически обоснованы (Bonner, Karrfalt, 2008), надо только грамотно применить тот или иной способ на практике, учитывая биологические особенности вида.

В России, согласно действующим правилам (Guidelines..., 2000), для хранения семян сосны и ели сроком более пяти лет оптимальной является температура от -1°C до -10°C ; допускаемая влажность семян при хранении – 4,5–7,5%. Тем не менее неглубокое замораживание не всегда обеспечивает сохранение семян в жизнеспособном состоянии.

С целью изучения особенностей влияния разных температурных режимов хранения на качество семян в 2011 г. в ВИР нами был заложен опыт по длительному хранению партий семян хвойных пород. Через три года опубликованы первые результаты (Safina, Nikolaeva, 2014). В настоящей статье представлен очередной этап испытаний и показана динамика изменения качества семян за период 2011–2019 гг.

Материалы и методы

Объектом исследований являются семена ортодоксального типа – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской *Picea abies* (L.) H. Karst.). Для опытов использован семенной материал, заготовленный в разные годы в пределах Ленинградской области, в том

числе на Гатчинской лесосеменной станции (ЛСС); одна из партий семян ели – в Карелии (Заонежье). Партии семян различаются исходными посевными качествами (табл. 1).

(ГОСТ 13056.6-97. Seeds of trees..., 1997); в случае неопределенности закладывали дополнительную пробу на проращивание. В процессе проращивания заплесневевшие семена снимали с лотка и перекладывали в стерилизо-

Таблица 1. Происхождение и качество партий семян

Table 1. Background information about the origin and quality of seed lots

Происхождение семенного материала		Посевные качества семян (2011 г.)	
Год заготовки	Район заготовки	Энергия прорастания	Лабораторная всхожесть
<i>Pinus sylvestris</i> L.			
1996	Кипень, Гатчинская ЛОС	32,0 ± 1,9	50,0 ± 2,0
1999	Рощинский лесхоз	42,5 ± 1,5	56,5 ± 1,5
2001	Кипень, Гатчинская ЛОС	41,0 ± 2,0	55,0 ± 2,0
2011	Кипень (ссыпка* № 2)	64,0 ± 2,5	79,0 ± 2,5
2011	Кипень (ссыпка* № 3)	53,0 ± 2,5	73,0 ± 1,4
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.			
2001	Заонежский лесхоз (ссыпка* № 2)	65,0 ± 2,0	76,0 ± 2,0
2004	Гатчинский лесхоз	50,5 ± 2,0	79,0 ± 1,5
2008	Бокситогорское лесничество, Кургальское участковое лесничество	32,0 ± 1,4	71,5 ± 1,5
2009	Любанское лесничество, географические культуры, костромское потомство	52,0 ± 1,5	92,0 ± 1,4
2011	Ленинградская обл. (ссыпка* № 1)	75,5 ± 2,2	84,0 ± 1,9

Примечание: ссыпка* – партия семян, полученная в 2011 г. от Центра защиты леса Ленинградской обл.

Note: * – seed mix; a batch of seeds received in 2011 from the Center for Forest Protection of Leningrad Province

До 2011 г. семена хранились, в зависимости от партии и года заготовки семян (1996 ÷ 2011 гг.), от полугода до 15 лет в холодильнике при температуре +5 ÷ +6°C, в герметично закрытой стеклянной таре и имели влажность 5,80–5,85% (ель) и 6,1–6,2% (сосна).

Перед закладкой на хранение семена были подсушены в условиях, рекомендуемых Genebank Standards (1994) в сушильной камере при температуре +18°C и относительной влажности воздуха 10–12% до равновесной влажности 4,2–4,4%. Влажность семян определяли по ГОСТ 13056.3-86 (ГОСТ 13056.3-86. Seed of trees..., 1986). Затем образцы семян герметично упаковывали по 50 шт. в ламинированные пакеты из фольги и закладывали на хранение при температурных режимах: +20°C, +4°C, –18°C и –182°C; для каждой партии семян каждый температурный режим представлен в 12–14-кратной повторности; в такой же упаковке заложены семена, оставшиеся неотсчитанными. Для низкотемпературного хранения и криоконсервации использован режим быстрого замораживания путем помещения пакетов с семенами в морозильную камеру (–18°C) или в пары жидкого азота (–182°C) и оттаивания при комнатной температуре в течение суток.

Определение качества семян – энергии прорастания и лабораторной всхожести – выполнено в трехкратной повторности (в повторности – 50 семян), с применением аппарата Якобсена в соответствии с ГОСТ 13056.6-97

ванные чашки Петри с фильтровальной бумагой для последующего определения зараженности и состава патогенных грибов. Оценка зараженности выполнена по степени встречаемости зараженных семян по ГОСТ 13056.5-76 (ГОСТ 13056.6-76. Seeds of trees..., 1976). Состав патогенных грибов определяли согласно приложениям ГОСТ 13056.5-76, определителям (Khokhryakov et al., 1984; Zhukov A., Zhukov P., 2012) визуальным осмотром с помощью светового микроскопа при 10-кратном увеличении и по фотографиям, сделанным с помощью микроскопа ЛОМО МБИ-3 с цифровым адаптером на основе фотокамеры Sony ILCE-7 с разрешением кадров 44 тыс. точек на дюйм (DPI). Съемка производилась с бреккетингом фокуса и последующей сшивкой в программе Helicon Focus.

С помощью программы Microsoft Excel определены средние значения энергии прорастания и всхожести, их стандартные ошибки и коэффициент изменчивости; по *t*-критерию Стьюдента рассчитана достоверность различий между показателями качества семян перед началом опыта (2011 г.) и в годы исследований (2014–2019 гг.) ($P = 0,95$; $n_1 = 4$ и $n_2 = 4$; $t > 2,447$), а также оценена значимость коэффициентов корреляции ($P = 0,95$; $n = 4$; $t > 4,303$).

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлена динамика изменения посевных качеств семян спустя три года после начала опыта

Таблица 2. Качество семян сосны и ели в разные годы исследования
Table 2. Scots pine and Norway spruce seed quality in different years of research

Год заготовки семенного материала*	Температурный режим хранения, t°С	Год исследования					
		2014		2016		2019	
		энергия прорастания, %	всхожесть, %	энергия прорастания, %	всхожесть, %	энергия прорастания, %	всхожесть, %
Pinus sylvestris L.							
1996 (32,0±1,9 50,0±2,0)	+20	18,0±2,8	30,0±1,9	16,0±3,9	24,0±3,1	10,3±2,9	17,3±2,5
	+4	18,0±1,4	31,3±2,3	18,0±2,5	28,7±1,5	13,0±1,9	30,0±3,2
	-18	24,3±2,5	47,3±2,3	24,0±2,5	35,3±2,9	17,0±2,1	35,7±2,7
	-182	32,0±2,5	48,0±2,1	26,0±2,5	38,0±1,9	17,0±3,2	37,0±2,5
1999 (42,5±1,5 56,5±1,5)	+20	26,3±3,2	30,3±2,2	26,3±1,5	30,0±1,2	3,0±1,4	15,3±1,8
	+4	44,0±2,1	54,0±2,5	41,7±1,5	53,7±1,8	36,7±1,8	42,0±1,9
	-18	43,7±2,0	57,7±0,8	42,3±1,6	57,7±1,1	42,3±2,1	55,3±1,8
	-182	43,3±1,6	56,3±1,5	43,0±1,9	56,7±0,8	42,0±1,9	55,3±1,1
2001 (41,0±2,0 55,0±2,0)	+20	16,0±2,8	38,3±1,9	10,0±2,8	31,0±2,5	13,7±2,9	32,0±2,8
	+4	27,3±1,8	55,0±2,1	12,3±2,7	44,0±1,9	13,7±2,7	37,3±1,8
	-18	39,7±1,8	54,3±2,0	39,0±1,9	54,3±2,2	27,0±2,1	53,7±2,5
	-182	42,0±1,9	56,0±1,4	39,7±1,8	55,0±2,5	35,0±1,4	54,0±2,5
2011 (№ 2**) (64,0±2,5 79,0±2,5)	+20	-		15,3±2,9	55,3±1,5	16,0±2,5	57,0±1,9
	+4			35,0±2,4	74,7±1,5	35,3±2,2	72,3±2,2
	-18			63,3±1,8	79,3±1,5	60,7±1,8	79,3±1,8
	-182			64,3±1,1	80,3±1,8	62,3±1,5	80,0±1,9
2011 (№ 3**) (53,0±2,5 73,0±1,4)	+20	10,0±3,2	40,3±2,0	-		10,0±2,5	38,3±3,3
	+4	23,0±3,1	53,3±1,8			22,7±3,3	53,0±2,5
	-18	50,3±2,2	74,3±1,8			50,3±2,2	74,0±2,4
	-182	54,0±2,7	74,0±2,2			54,0±2,5	74,0±2,1

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Год заготовки семенного материала*	Температурный режим хранения, t°C	Год исследования					
		2014		2016		2019	
		энергия прорастания, %	всхожесть, %	энергия прорастания, %	всхожесть, %	энергия прорастания, %	всхожесть, %
Picea abies (L.) H. Karst.							
2001 (65,0±2,0 76,0±2,0)	+20	18,0±3,2	25,3±1,8	16,0±2,4	24,0±2,4	11,3±2,9	17,0±2,8
	+4	46,3±2,2	60,0±1,9	41,0±1,9	58,0±2,1	37,3±2,2	52,0±2,4
	-18	51,3±2,2	72,3±1,8	50,7±2,3	74,0±1,9	50,3±2,2	75,7±1,6
	-182	52,3±2,3	75,0±1,4	50,3±0,8	76,0±1,4	50,0±2,1	75,0±1,9
2004 (50,5±2,0 79,0±1,5)	+20	26,0±3,5	36,3±1,8	26,0±2,1	37,0±2,5	20,0±2,5	29,0±1,9
	+4	46,7±2,0	80,0±2,8	32,3±2,0	56,3±2,2	33,7±1,1	44,3±1,6
	-18	50,3±2,0	80,0±2,1	49,7±2,2	74,0±2,2	50,7±1,6	74,0±1,9
	-182	50,7±2,5	79,0±1,9	49,3±2,2	78,0±1,9	50,3±1,5	77,0±1,2
2008 (32,0±1,4 71,5±1,5)	+20	23,3±2,8	51,7±2,0	-		3,0±0,0	14,0±0,7
	+4	25,0±2,5	54,7±2,3			25,7±2,5	53,0±1,4
	-18	32,3±1,1	72,0±2,1			31,3±1,9	72,3±1,8
	-182	33,0±1,5	71,7±1,8			31,7±1,5	71,7±1,4
2009 (52,0±1,5 92,0±1,4)	+20	41,3±1,8	86,0±2,1	34,0±1,4	85,7±1,8	31,3±2,3	79,3±1,5
	+4	44,0±1,9	88,3±1,8	44,0±1,9	90,0±1,9	42,3±1,6	90,3±1,8
	-18	51,0±1,8	92,0±1,4	51,3±2,3	92,0±1,9	51,3±1,9	92,0±1,5
	-182	52,7±2,5	93,3±1,5	52,0±1,4	94,0±1,4	51,7±2,2	92,3±1,1
2011 (75,5±2,2 84,0±1,9)	+20	-		22,0±2,1	44,0±1,9	11,0±2,8	39,3±1,8
	+4			52,0±2,5	69,0±1,9	48,0±1,9	62,3±2,3
	-18			73,0±2,1	84,0±2,5	73,0±1,2	82,0±1,9
	-182			75,7±2,9	84,0±1,9	75,7±1,8	84,0±1,4

Примечание: * в скобках указаны энергия прорастания (верхняя строка) и всхожесть семян (нижняя строка) до начала опыта (2011 г.);

** № 2, № 3 – ссыпка; партии семян, полученные в 2011 г. от ЦЗЛ Ленинградской обл.;

*** курсивом выделены различия между показателями качества семян до начала опыта (2011 г.) и в годы исследований (2014, 2016, 2019 г.) достоверны ($t_{расч} > 2,447$)

Note: * Parenthesized are seed germination energy (top line) and seed germination rate (bottom line) before the start of the experiment (2011);

** № 2, № 3 – seed mix; batches of seeds received in 2011 from the Center for Forest Protection of Leningrad Province;

*** *Italicized* are differences between seed quality indicators before the start of the experiment (2011) and during the years of research (2014, 2016, 2019) they are statistically significant ($t_{est.} > 2,447$)

(Safina, Nikolayeva, 2014), пяти лет и восьми лет хранения при разных температурных режимах. На разных этапах наблюдений (2014, 2016, 2019 г.) прослежена стабильность показателей качества семян после хранения при температурах -18°C и -182°C .

Оценка результатов исследований показала, что расхождение значений одного анализа одного образца, состоящего из трех проб, не превышало значения, допускаемого ГОСТ 13056.6-97. Коэффициент изменчивости признаков качества семян – энергии прорастания и всхожести – на всех этапах наблюдений в случае хранения семян при отрицательных температурах находился на низком или очень низком уровне (1,9–11,1%). Вариация показателей качества семян ели после хранения при $+4^{\circ}\text{C}$ не превысила уровня 16%, в двух образцах семян сосны 1996 и 2001 года заготовки (г.з.) она достигла уровня 21–30,7 %. Самые значительные колебания с уровнем изменчивости 34,8–66,6% были отмечены при оценке энергии прорастания после хранения семян при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ (сосны – 1996, 1999, 2001 и 2011 (№ 3) г.з.; ели – 2011 г.з.).

Энергия прорастания, показывающая способность семян быстро и дружно прорасти, резко сократилась

за период 2011–2014 гг. у образцов, хранившихся при положительных температурах, особенно при $+20^{\circ}\text{C}$. За 8-летний период хранения (2011–2019 гг.) при $+20^{\circ}\text{C}$ снижение энергии прорастания семян сосны наблюдалось, в зависимости от партии и года заготовки, в пределах 22–48%, ели – 21–65%; всхожесть снизилась соответственно на 23–40% и 13–60%. Ухудшение показателей качества семян как сосны, так и ели после хранения при $+4^{\circ}\text{C}$ выражено слабее.

Как известно, низкотемпературное и криогенное хранение ортодоксальных семян максимально замедляет окислительные процессы в семенах, тем самым сохраняя их жизнеспособность. Опыт показал, что температуры -18°C и -182°C позволяют сохранить качество семян на уровне 2011 г. ($\pm 5\%$). Исключением являются семена сосны 1996 г.з., у которых за 8 лет хранения при -18°C и -182°C энергия прорастания сократилась почти вдвое (от 32 до 17%), а всхожесть ухудшилась на 13–14%; однако полученный результат требует уточнения.

Одной из причин, вызывающих снижение качества семян, является повреждение их патогенными грибами (табл. 3).

Таблица 3. Зараженность семян сосны и ели патогенными грибами

Table 3. Levels of infection of Scots pine and Norway spruce seeds with pathogenic fungi

Год заготовки семенного материала	Температурный режим хранения, <i>t</i> °C	Зараженность семян в год исследования, %		
		2014	2016	2019
<i>Pinus sylvestris</i> L.				
1996	+20	25	70–71	80
	+4	18	65–66	68
	–18	16	56	56
	–182	1–2	6–7	50
1999	+20	20	30	60
	+4	8	11	18
	–18	8	10	10
	–182	3	6–7	7
2001	+20	22	34	34–35
	+4	4	24	30
	–18	2	2	3
	–182	2	2	3
2011 (ссыпка* № 2)	+20	–	30	25
	+4		7	11
	–18		3	3
	–182		3-4	3
2011 (ссыпка* № 3)	+20	18	–	30
	+4	16		20
	–18	2		2-3
	–182	2		2

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Год заготовки семенного материала	Температурный режим хранения, t ^o C	Зараженность семян в год исследования, %		
		2014	2016	2019
Picea abies (L.) H. Karst.				
2001	+20	70	70	80
	+4	35	35	44
	-18	10	10-11	10-11
	-182	6	10	10
2004	+20	62	64	65
	+4	16	20-22	20
	-18	8	8	8
	-182	7	7	7
2008	+20	4	-	70
	+4	2		30
	-18	2		5
	-182	0		5
2009	+20	2	1	1
	+4	1	1	0
	-18	0	0	0
	-182	0	0	0
2011	+20	-	33-34	55
	+4		15-16	20
	-18		4-7	7-8
	-182		3-4	7-8

Примечание: * ссыпка – партия семян, полученная в 2011 г. от ЦЗЛ Ленинградской обл.

Note: * – seed mix; batches of seeds received in 2011 from the Center for Forest Protection of Leningrad Province

На основании сравнительной оценки первых результатов было установлено, что с повышением температуры хранения зараженность семян возрастает (Nikolaeva et al., 2018). За восьмилетний период исследований степень встречаемости зараженных семян после хранения в условиях низких и сверхнизких температур мало изменилась, не превысив 10–11%, за исключением партий семян наиболее давних сроков заготовки. Проращивание семян сосны 1996 г.з. после хранения при всех температурных режимах на четвертый день показало первые признаки развития плесени; на 15-й день в случае хранения при +20°C практически все оставшиеся семена (80%) были поражены плесневыми грибами. Семена данной партии характеризуются наиболее активным процессом старе-

ния, что обусловлено зараженностью их до начала опыта (до 2011 г.). Хранение семян ели 2001 г.з. при комнатной температуре, так же как и семян сосны 1996 г.з., за восемь лет привело к сильной степени зараженности семян и к резкому ухудшению их качества (2016 г. – 70 %, 2019 г. – 80%); встречаемость зараженных семян на шестой день проращивания в 2019 г. составила 70%.

Партия семян ели 2009 г.з., в которой отмечались только единичные признаки заражения, характеризуется самым высоким качеством.

Фитопатогенные грибы существенно различаются между собой по уровню патогенности и специализации, а вызываемые ими болезни разнообразны по характеру развития и симптомам (Bojko et al., 2012). Развитию фи-

топатогенных грибов, вызывающих загнивание, способствует целый комплекс факторов, которые могут понизить устойчивость семян или вызвать отмирание их тканей (характер семенных покровов и механические повреждения, подмерзание, чрезмерное увлажнение или пересыхание семян, повышенная температура, недостаточная аэрация, состав атмосферы хранилища или упаковки, степень зрелости и т. д.).

На поверхности семян как сосны, так и ели наиболее часты различные виды плесени, возбудителями которых являются сапротрофные грибы родов *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli, *Rhizopus* Ehrenb., *Scopulariopsis* Bainier (рис. 1 и 2). Они встречаются преимущественно после хранения при температурах +20°C и +4°C.

Кроме перечисленных родов, в партиях семян сосны 1996 и 2001 г.з. встречаются сапротрофные грибы рода *Cladosporium* Link, вызывающие темно-оливковую плесень, и *Oedocephalum* Preuss. Зараженность грибами рода *Mucor* Fresen – слабая (до 20%) во всех партиях семян сосны. Паразитный гриб *Botrytis cinerea* Pers. – возбудитель серой плесени – обнаружен в партиях семян 1996 и 1999 г.з.; на семенах 1996 г.з. единично были отмечены грибы родов *Alternaria* Nees. и *Thamnidium* Link (Zhukov A., Zhukov P., 2012).

В партиях семян ели 2001, 2004 и 2011 г.з. после хранения при положительных температурах зараженность сапротрофным грибом *Spicaria elegans* (Corda) Harz. (= *Paeclomyces elegans* (Corda) Mason et Hughes) (Zhukov A., Zhu-

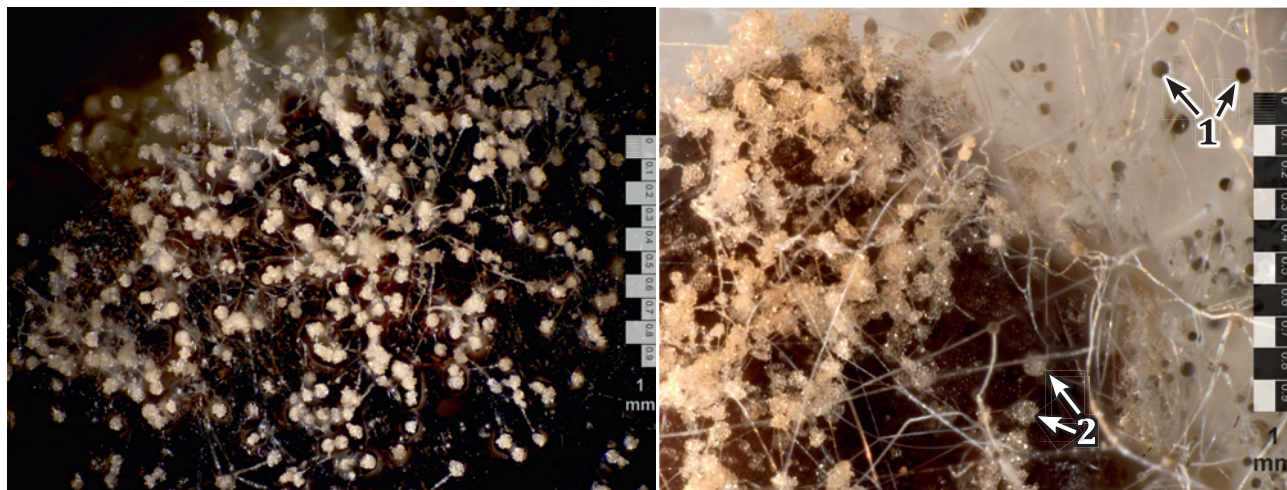


Рис. 1. Патогенные грибы на семенах сосны после хранения при температуре: +20°C, 2001 год заготовки, *Aspergillus* sp. (слева); -18°C, 1996 год заготовки, (1) *Mucor* sp. и (2) *Thamnidium* sp. (справа)

Fig. 1. Pathogenic fungi on Scots pine seeds after storage at temperatures: +20°C, placed for storage in 2001, *Aspergillus* sp. (left); -18°C, placed for storage in 1996, (1) *Mucor* sp. and (2) *Thamnidium* sp. (right)

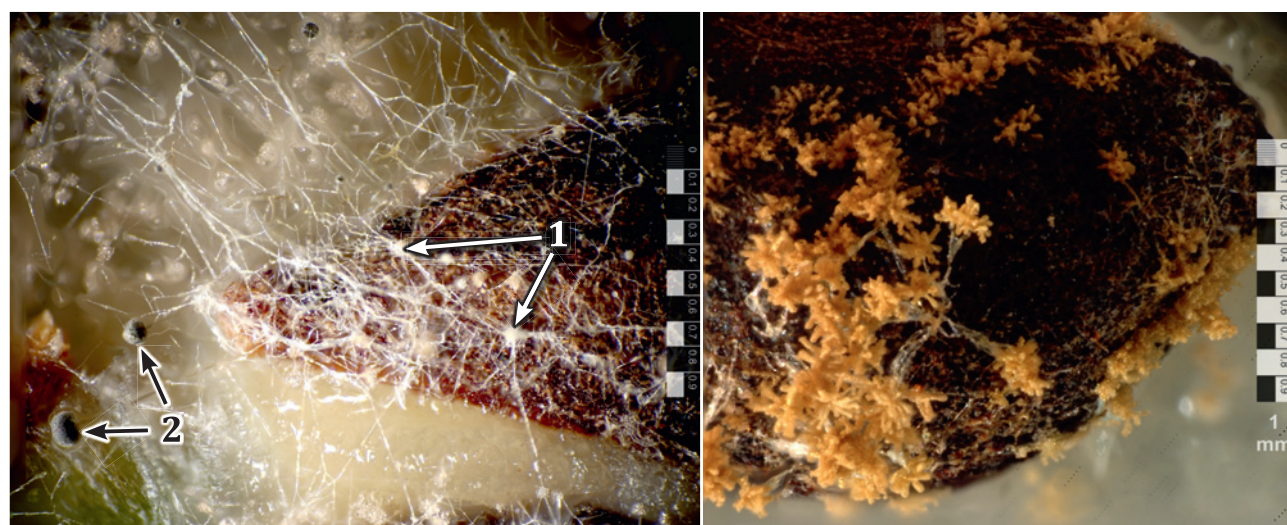


Рис. 2. Патогенные грибы на семенах ели после хранения при температуре: +20°C, 2011 год заготовки, (1) *Thamnidium* sp. и (2) *Rhizopus* sp. (слева); +4°C, 2004 год заготовки, *Scopulariopsis* sp. (справа)

Fig. 2. Pathogenic fungi on Norway spruce seeds after storage at temperatures: +20°C, placed for storage in 2011, (1) *Thamnidium* sp. and (2) *Rhizopus* sp. (left); +4°C, placed for storage in 2004, *Scopulariopsis* sp. (right)

ков Р., 2012), возбудителем белой плесени, наблюдалась на уровне 15–25%. Зараженность головчатой плесенью (*Mucor* spp.) в партиях 2001 и 2008 г.з. не превысила 15%; в этих же партиях наблюдали *Oedocephalum* spp.; на семенах партий 2001 и 2011 г.з. – *Thamnidium* spp. и единично – сапротроф *Cladosporium* spp.; на семенах 2001 г.з., единично были отмечены виды рода *Alternaria*.

Таким образом, на семенах наиболее давних сроков заготовки после хранения при положительных температурах можно наблюдать комплекс патогенной микобиоты, негативно воздействующей на их посевные качества.

В большинстве случаев прослежена достоверная связь между зараженностью и показателями посевных качеств семян в зависимости от температурных режимов хранения. Хранение семян при положительных температурах приводит к ускорению процессов физиолого-биохимических изменений, происходящих в семенах, что благоприятно для развития грибной инфекции, соответственно и к снижению качества семян; в то же время отрицательные температуры препятствуют развитию инфекции. Чем меньше встречаемость патогенных грибов, что наблюдается после хранения при -18°C и -182°C , тем закономерно выше энергия прорастания и всхожесть семян (табл. 4).

Заключение

Испытание различных температурных режимов хранения ($+20^{\circ}\text{C}$, $+4^{\circ}\text{C}$, -18°C , -182°C) ортодоксальных семян *Pinus sylvestris* и *Picea abies* в течение восьми лет (2011–2019) показало существенное преимущество отрицательных температур по сравнению с положительными.

Установлено, что хранение семян сосны и ели в герметично упакованной таре и при влажности семян 4,2–4,4% в условиях морозильной камеры (-18°C) и в парах жидкого азота (-182°C) блокировало распространение и не допускало развитие патогенной микобиоты, что позволило сохранить качество и жизнеспособность семян на уровне начала опыта. Температура хранения семян $+20^{\circ}\text{C}$, несмотря на герметичность упаковки и низкую влажность семян, способствовала ускорению темпов распространения болезней; хранение при $+4^{\circ}\text{C}$, в сравнении с $+20^{\circ}\text{C}$, до некоторой степени его сдерживало.

Температура хранения семян должна быть тем ниже, чем дольше планируемый срок хранения. Абсолютное сохранение посевных качеств семян возможно при полном отсутствии зараженности их грибами перед закладкой на хранение, как это наблюдается в одной из партий семян ели.

Таблица 4. Корреляционная связь между зараженностью семян грибами и показателями посевных качеств в зависимости от температурных режимов хранения

Table 4. Correlations between the level of seed infection with pathogenic fungi and indicators of sowing qualities depending on storage temperature patterns

Год заготовки семенного материала	Корреляция между зараженностью и показателями посевных качеств семян, в год проведения исследований					
	2014	2016	2019	2014	2016	2019
	с энергией прорастания семян			с лабораторной всхожестью		
Pinus sylvestris L.						
1996	-0,941	-0,831	-0,982±0,134	-0,778	-0,818	-0,966±0,183
1999	-0,935	-0,995±0,071	-0,997±0,055	-0,944	-0,986±0,118	-0,987±0,114
2001	-0,892	-0,980±0,141	-0,945	-0,993±0,084	-0,972±0,166	-0,996±0,063
2011 (№ 2)	-	-0,890	-0,976±0,154	-	-0,996±0,063	-0,999±0,032
2011 (№ 3)	-0,985±0,122	-	-0,997±0,055	-0,974±0,160	-	-0,999±0,032
Picea abies (L.) H. Karst.						
2001	-0,959±0,200	-0,989±0,105	-0,987±0,114	-0,987±0,114	-0,996±0,063	-0,996±0,063
2004	-0,999±0,032	-0,878	-0,940	-0,986±0,118	-0,959±0,200	-0,893
2008	-0,721	-	-0,982±0,134	-0,754	-	-0,998±0,045
2009	-0,989±0,105	-0,872	-0,890	-0,987±0,114	-0,838	-0,990±0,100
2011	-	-0,999±0,032	-0,985±0,122	-	-0,997±0,055	-0,973±0,163

Примечание: *выделение курсивом* – значимость коэффициента корреляции отсутствует
 Note: *Italicized* is the absence of statistical significance for the correlation coefficient

В большинстве случаев прослежена закономерная зависимость: чем меньше семена заражены патогенными грибами, тем выше энергия прорастания и всхожесть семян, что в свою очередь связано с температурным режимом хранения. Видовое разнообразие патогенной микобиоты на семенах сосны и ели (за исключением семян ели 2009 года закладки) представлено, в первую очередь, сапротрофными представителями родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Scopulariopsis*; реже встречались *Cladosporium*, *Oedocephalum*, *Mucor*, единично – грибы рода *Alternaria*. В некоторых партиях отмечены виды рода *Thamnidium*, вызывающие загнивание семян в результате антисанитарных условий при сборе. Грибы рода *Botrytis* отмечены только на семенах сосны, сапротроф *Spicaria elegans* – только на семенах ели.

Работа третьего автора выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2020-0001 «Обеспечение сохранения и пополнения коллекции генетических ресурсов растений».

Авторы выражают благодарность в оказании помощи по определению и фотофиксации микофлоры семян Е. В. Журишкиной, научному сотруднику ПИЯФ имени Б.П. Константинова, и Д. Д. Сластуну, сотруднику Ботанического института имени В.Л. Комарова.

The work of the third author was carried out within the framework of a State Task in accordance with the theme plan of VIR under Project No. 0481-2019-0003 "Ensuring the conservation and replenishment of the collection of plant genetic resources".

The authors are grateful to E. V. Zhurishkina, a researcher at the B.P. Konstantinov St. Petersburg Institute of Nuclear Physics, and D. D. Slastunov, an employee of the Komarov Botanical Institute, for their assistance in the identification and photofixation of seed mycoflora.

References / Литература

Bojko T.A., Krylova I.O., Luk K.S. Phytopathogen fungi as contaminants of hylophate seeds. Perm: Perm State Agricultural Academy; 2012. [in Russian] (Бойко Т.А., Крылова И.О. Люк К.С. Фитопатогенные грибы – контаминанты семян лесных растений. Пермь: Пермская ГСХА; 2012).

Bonner F.T., Karrfalt R.P. The Woody Plant Seed Manual. Agricultural Handbook No. 727. Washington, DC: USDA Forest Service; 2008.

Concept of the Federal Target Program "Development of forest seed production for the period of 2009–2020" (Konseptsiya Federalnoy tsелеvoy programmy "Razvitiye lesnogo semenovodstva na period 2009–2020 gg."). *Lesnaya Rossiya = Forest Russia*. 2008;9:9-15. [in Russian] (Концепция Федеральной целевой программы «Развитие лесного семеноводства на период 2009–2020 гг.». *Лесная Россия*. 2008;9:9-15).

For grateful descendants (Dlya blagodarnykh potomkov). *Lesnaya Rossiya = Forest Russia*. 2008;1:44-48. [in Russian] (Для благодарных потомков. *Лесная Россия*. 2008;1:44-48).

Gantait S., Kundu S., Wani S.H., Das P.K. Cryopreservation of forest tree seeds: A mini-review. *Journal of Forest*

Environmental Science. 2016;32(3):311-322. DOI: 10.7747/JFES.2016.32.3.311

Genebank Standards. Rome: FAO, IPGRI; 1994. Available from: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/meeting/015/aj680e.pdf> [accessed Nov. 12, 2020].

Gladsky M., Prokazin A.E., Rutkovsky I.V. About some promising technologies of forest seed production and nurseries (from the Swedish experience) (O nekotorykh perspektivnykh tekhnologiyakh lesnogo semenovodstva i pitomnicheskogo dela [iz shvedskogo opyta]). *Forestry Information*. 2004;1:52-63. [in Russian] (Гладский М., Проказин А.Е., Рутковский И.В. О некоторых перспективных технологиях лесного семеноводства и питомнического дела (из шведского опыта). *Лесохозяйственная информация*. 2004;1:52-63).

GOST 130056.3-86. Seed of trees and shrubs. Methods for determination of moisture. Moscow; 1988. [in Russian] (ГОСТ 130056.3-86. Семена деревьев и кустарников. Методы определения влажности. Москва; 1988). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025564> [дата обращения: 08.10.2020].

GOST 13056.5-76. Seed of trees and shrubs. Methods of phytopathological analysis. Moscow; 1988. [in Russian] (ГОСТ 13056.5-76. Семена деревьев и кустарников. Методы фитопатологического анализа Москва; 1988). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025566> [дата обращения: 08.10.2020].

GOST 13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. Method for determination of germination. Moscow; 1998. [in Russian] (ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. Москва; 1998). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025567> [дата обращения: 08.10.2020].

Guidelines for forest seed production in the Russian Federation (Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii). Moscow; 2000. [in Russian] (Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. Москва; 2000). URL: <http://www.alppp.ru/law/okruzhayuschaja-sreda-i-prirodnye-resursy/ispolzovanie-ohrana-zaschita-i-vosproizvodstvo-lesov/8/ukazaniya-po-lesnomu-semenovodstvu-v-rossijskoj-federacii.pdf> [дата обращения: 01.10.2020].

Hawkins B.J., Guest H.J., Kolotelo D. Freezing tolerance of conifer seeds and germinants. *Tree Physiology*. 2003;23(18):1237-1246. DOI: 10.1093/treephys/23.18.1237

Khokhryakov M.K., Potlaychuk V.I., Semenov A.Ya., Elbakyan M.A. Key to crop disease (Opredelitel bolezney sel'skokhozyaystvennykh kultur). Leningrad: Kolos; 1984. [in Russian] (Хохряков М.К., Потлайчук В.И., Семенов А.Я., Элбакян М.А. Определитель болезней сельскохозяйственных культур. Ленинград: Колос; 1984).

Nikolaeva M.A., Varentsova E.Yu., Safina G.F., Zamnius A.V. The influence of storage temperature conditions on the development of fungal diseases in pine and spruce seeds (Vliyaniye temperaturnykh rezhimov khraneniya na razvitiye gribnykh bolezney semyan sosny i yeli). In: V.M. Gedyo (ed.). *Forests in Russia: Policy, Industry Science, Education (Lesa Rossii: politika, promyshlennost, nauka, obrazovaniye). Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference; May 23–24, 2018; St. Petersburg, Russia. Vol. 1*. St. Petersburg: State Forest Technical University; 2018. p.222-225. [in Russian] (Николаева М.А., Варенцова Е.Ю., Сафина Г.Ф., Замниус А.В. Влияние температурных режимов хра-

нения на развитие грибных болезней семян сосны и ели. В кн.: *Леса России: Политика, промышленность, наука, образование. Материалы 3-й международной научно-технической конференции; 23–24 мая 2018 г.; Санкт-Петербург, Россия. Т. 1* / под ред. В.М. Гедьо. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ; 2018. С.222–225).

- Orekhova T.P. Creation of long-term seed bank of woody species – the real way of preservation of their genofund. *Conifers of the Boreal Area*. 2010;27(1-2):25–31. [in Russian] (Орехова Т.П. Создание долговременного банка семян древесных видов – реальный способ сохранения их генофонда. *Хвойные бореальной зоны*. 2010;27(1-2):25–31).
- Orlov M.M. On the foundations of Russian state forestry (Ob osnovakh russkogo gosudarstvennogo lesnogo khozyaystva). Petrograd: 9th State Printing House; 1918. [in Russian] (Орлов М.М. Об основах русского государственного лесного хозяйства. Петроград: 9-я Государственная типография; 1918).
- Safina G.F. The influence of low and ultralow temperature on viability of fruit and berry seeds. *Informatsionny vestnik VOGiS = Bulletin of the Vavilov Society of Geneticists and Plant Breeders*. 2008;12(4):541–547. [in Russian] (Сафина Г.Ф. Влияние низких и сверхнизких температур на жизнеспособность семян плодовых и ягодных растений. *Информационный вестник ВОГиС*. 2008;12(4):541–547).
- Safina G.F., Nikolayeva M.A. Prospects for cryopreservation of seeds used to store the genetic resources of conifer plants. *Biosfera = Biosphere*. 2014;6(4):365–372. [in Russian] (Сафина Г.Ф., Николаева М.А. Перспективы использования криоконсервации семян для сохранения генетических ресурсов хвойных. *Биосфера*. 2014;6(4):365–372). DOI: 10.24855/biosfera.v6i4.181

- Sanz V., Escudero A., Pita J.M. Seed cryopreservation of seven Spanish native pine species. *Silvae Genetica*. 1998;47(4):220–223.
- Simpson J.D., Wang B.S.P., Daigle B.I. Long-term seed storage of various Canadian hardwoods and conifers. *Seed Science and Technology*. 2004;32(2):561–572. DOI: 10.15258/sst.2004.32.2.25
- Suszka B., Chmielarz P., Walkenhorst R. How long can seeds of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be stored? *Annals of Forest Science*. 2005;62(1):73–78. DOI: 10.1051/forest:2004082
- Verzhuk V.G., Filipenko G.I., Safina G.F., Pavlov A.V., Zhestkov A.S. Cryopreservation is an effective method of fruit crops genetic resources conservation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;169:270–279. [in Russian] (Вержук В.Г., Филипенко Г.И., Сафина Г.Ф., Павлов А.В., Жестков А.С. Криоконсервация – эффективный метод сохранения генетических ресурсов плодовых и ягодных культур. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;169:270–279).
- Zhukov A.M., Zhukov P.D. Atlas of coniferous seed fungi diseases. Pushkino: VNIILM; 2012. [in Russian] (Жуков А.М., Жуков П.Д. Атлас грибных болезней семян хвойных пород. Пушкино: ВНИИЛМ; 2012).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Николаева М.А., Варенцова Е.Ю., Сафина Г.Ф. Влияние температурных режимов хранения семян сосны и ели на всхожесть и зараженность патогенными грибами. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):157–167. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-157-167

Nikolaeva M.A., Varentsova E.Yu., Safina G.F. The impact of temperature patterns during storage of Scots pine and Norway spruce seeds on their germination and fungal infection rates. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):157–167. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-157-167

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-157-167>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Nikolaeva M.A. <https://orcid.org/0000-0002-1777-3937>

Varentsova E.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-4616-2289>

Safina G.F. <https://orcid.org/0000-0002-8566-0192>

Степень влияния глютенинов на качество зерна как одного из сложных полигенных признаков рода *Triticum* (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-168-185

УДК 581.134.4:633.11

Поступление/Received: 16.07.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021



The effect of glutenins on grain quality as one of the complex polygenic traits in the genus *Triticum* (a review)

М. В. ВОРОТЫНЦЕВА

M. V. VOROTYNTSEVA

Федеральный Алтайский научный центр
агробиотехнологий,
656910, Россия, г. Барнаул, Научный городок, 35
✉ masha.vorotintseva@yandex.ru

Federal Altai Scientific Center
of Agro-BioTechnologies,
35 Nauchny Gorodok, Barnaul 656910, Russia
✉ masha.vorotintseva@yandex.ru

Оценка селекционного материала на основе белковых маркеров дает возможность достаточно быстро и качественно проводить отбор и контролировать передачу желаемых признаков от родительских форм потомкам. Вместе с тем для селекции необходимо выявление новых и стабильных белковых маркеров для определения качества зерна пшеницы. Широко изученными белками пшеницы являются запасные белки глютенины. Полная характеристика отдельных фракций и компонентов белков отражена во многих научных исследованиях, поэтому изучение генетических закономерностей накопления белков в зерне различных сортов пшеницы и использование при идентификации генотипов в качестве маркеров компонентов высокомолекулярных (HMW-GS) и низкомолекулярных (LMW-GS) субъединиц глютенина является весьма актуальной проблемой. В данной статье проведен полный анализ научных статей о структуре и молекулярном строении глютенинов, а также сделан сравнительный анализ 22 статей о степени влияния данных белков на качественные показатели зерна: седиментационный объем (мл), содержание белка в зерне/муке (%; 14% m.b.; 12,5% m.b.), содержание белка в зерне, время смешивания (мин), устойчивость к замесу (мин; мм), объем буханки хлеба (см³; мл), сила теста (10⁻⁴ J), отношение упругости к растяжимости. Итогом статьи явилось выделение лучших по показателям качества аллелей глютенина, которыми стали *Glu-A1a*, *Glu-B1(h, f, b)*, *Glu-D1d*, *Glu-A3d*, *Glu-B3d*.

Ключевые слова: пшеница, глютенин, белковые маркеры, качественные показатели зерна.

Evaluation of plant breeding material, based on protein markers, gives an opportunity to perform rapid and reliable selection and control the transfer of desired traits from parents to their progeny. A search for new and stable protein markers is needed to identify genotypes with high grain quality. Such storage proteins in wheat as glutenins have been studied profoundly enough. Full characterization of individual protein fractions and components can be found in many scientific publications, while studying genetic patterns of protein accumulation in the grain of different wheat cultivars and using high-molecular-weight (HMW) and low-molecular-weight (LMW) glutenin subunits (GS) for genotype identification remain high in the research agenda. This is a comprehensive review of scientific publications about the structure and molecular organization of glutenins and a comparative analysis of 22 research papers about the degree of their effect on grain quality indicators: SDS-sedimentation volume (ml), grain/flour protein content (%; 14% m.b.; 12,5% m.b.), mixing time (min), mixing tolerance (min; mm), bread loaf volume (cm³; ml), dough strength (10⁻⁴ J), and P/L ratio. As a result of reviewing, the best alleles (subunits) of glutenin were identified, namely: *Glu-A1a*, *Glu-B1(h, f, b)*, *Glu-D1d*, *Glu-A3d*, and *Glu-B3d*.

Key words: wheat, glutenin, protein markers, grain quality indicators.

Введение

Пшеница является основной зерновой культурой во всем мире, что связано с объемами производства и сложившейся прочной традицией употребления ценных по питательности продуктов ее переработки в пищу (Nechayev et al., 1995). Однако в последнее десятилетие тенденция увеличения потенциальной продуктивности сортов сменилась на повышение качества товарного зерна пшеницы, что стало одной из актуальных проблем современности (Podgorny et al., 2016).

Род *Triticum* L. представлен достаточно большим разнообразием видов – более 20, из которых практическое значение получили мягкая, или обыкновенная пшеница (*T. aestivum* L.), дающая муку высоких хлебопекарных качеств, и твердая, или «макаронная» пшеница (*T. durum*

Desf.) с высоким содержанием белка, используемая для изготовления высококачественных макарон, для производства кускуса (Северная Африка) и булгура (Турция) (Chuprina, 2019).

Различия в целевом использовании зерна обоих видов пшениц определяются особенностями их химического состава. Изобилие крахмала, содержащегося в зернах мягкой пшеницы, оказывает огромную роль в процессе брожения теста и на свойства бездрожжевого теста (Huang, Lai, 2010). В отличие от зерна мягкой пшеницы, богатого крахмалом, зерно твердой отличается, прежде всего, высоким содержанием белков, клейковины и минимальным – крахмала. В стекловидном зерне крахмальные гранулы и белковые вещества уложены очень плотно, поэтому такое зерно при помоле раскалывается на крупные частицы и почти не дает муку, образуя при этом крупку

(семолину), ценную при изготовлении высококачественных макарон (Duktova, 2007). Уникальность зерен твердой пшеницы заключается и в большей концентрации каротинов, и в наличии сложных углеводов, которые, в отличие от простых (содержащихся в белом хлебе, картофеле), «медленны» в усвоении, поэтому и не вызывают увеличения массы тела (Wheat..., 2015).

Питательная и биологическая ценность пшеницы в большей степени определяется индивидуальным комплексом запасных белков, содержащихся в зерне *T. aestivum* либо *T. durum*, а также различными условиями ее произрастания. Создание высококачественных сортов пшеницы для каждого селекционера является сложной задачей. Их оценка и получение улучшенных линий дорогостоящи, трудоемки из-за низкой наследуемости и сложных биологических основ. Поиск генотипов с хорошим качеством клейковины (глутена) облегчается путем объединения методов молекулярного маркирования с методами традиционной селекции при одновременном учете результатов анализа технологических свойств зерна. Маркерами в этом случае выступают отдельные компоненты запасных белков зерновки, которым свойственна четкая генетическая детерминация и независимость фенотипического проявления от внешних условий (Semenov et al., 2018).

Известно, что качество зерна определяется тремя основными генетическими системами (локусами количественных признаков – QTL), ответственными за биосинтез конкретных клейковинных и других белков зерна (Branlard et al., 2001). Это гены *Glu*, контролирующие компонентный состав глютеинов, гены *Gli*, отвечающие за синтез глиадинов, и локус *Ha*, отвечающий за консистенцию эндосперма (Poretsky, 1996). Среди них важное место по эффективности занимают локусы *Glu-1* и *Glu-3*, ответственные за биосинтез соответственно высоко- (HMW-GS) и низкомолекулярных (LMW-GS) глютеинов (Krupnov, Krupnova, 2012). Разнообразие компонентного состава LMW-GS велико, схоже с глиадиновыми белками и находится еще в процессе изучения (Andersen, Lübberstedt, 2003). Слабая изученность LMW-GS, в сравнении с широко известным составом аллелей HMW-GS, объясняется сложностью разделения компонентов глютеина и глиадина при фракционировании методом электрофореза в полиакриламидном геле (Liu et al., 2005; Park et al., 2011). Разработка функциональных маркеров для идентификации различных генов, кодирующих LMW-GS, и их использования в программе селекции пшеницы по улучшению качества зерна на сегодняшний день является одним из новейших направлений (Zhao et al., 2004). Среди HMW-GS уже известен ряд белковых маркеров, вносящих большой вклад в качество зерна (Shewry et al., 1992).

Показано, что хлебопекарное качество мягких сортов пшеницы в основном зависит от генов локуса *Glu-1*, а качество макаронных изделий из сортов твердой пшеницы – от *Glu-3* (Vázquez et al., 1996; Anjum et al., 2007). Имеются и другие сведения, согласно которым еще не четко установлено влияние HMW-GS на свойства приготовления макаронных изделий в связи с ограниченной генетической изменчивостью генов *Glu-1*, присутствующих в современных сортах твердой пшеницы (Du Cros, 1987). Ранее было обнаружено, что и LMW-GS влияют на качество хлебопечения, но с противоречивыми результатами (Payne et al., 1987; Liu et al., 2009). Однако за последние 10 лет, ввиду большого содержания в зерне LMW-GS (около 60%), значительно возрос интерес к белкам этого

типа, что стало одной из актуальных тем международных исследований (Branlard et al., 2001). Показано, что положительный эффект от HMW-GS со временем из поколения в поколение может угасать. Определение вклада в качество хлебопечения LMW-GS позволило бы избежать возможной отрицательной зависимости между урожайностью и процентным содержанием белка в зерне (Rosa Filho, 1997).

Таким образом, исследования по изучению генетических закономерностей накопления как HMW-GS, так и LMW-GS в зерне и использования их в качестве белковых маркеров по улучшению качественных характеристик зерна носят масштабный характер, затрагивая страны со всего мира, включая Китай (Li L. et al., 2005; Li Y. 2009, 2010; Zhang X. et al., 2018), Корею (Ahn et al., 2014), Испанию (Chacón et al., 2020), Бразилию (Vancini et al., 2019), Нидерланды (Moonen et al., 1983), США (Rosa Filho, 1997), Великобританию (Payne et al., 1981), Индию (Sharma et al., 2012; Mohan, Gupta, 2015), Турцию (Kaya, Akcura, 2014), Мексику (Magallanes-López et al., 2017) и Россию (Vyushkov et al., 2012).

Для решения этой проблемы могут быть использованы также источники на основе новых генетических систем, в частности дальние сородичи рода *Triticum*, у которых аллельное разнообразие локусов *Glu-1* несравненно богаче, чем у существующих культурных сортов, что дает возможность использовать их для расширения и улучшения генофонда «слабых» по качеству видов (An et al., 2005).

Таким образом, изучение аллельного полиморфизма генов HMW- и LMW-GS пшеницы, отвечающих за качественные показатели муки, является важной задачей. Это позволит провести исследования по оценке их роли и степени влияния на показатели качества зерна и обогатить аллельное разнообразие у деградирующих видов (Vafin et al., 2015).

Настоящий обзор посвящен анализу данных о влиянии состава глютеинов на качественные показатели зерна: SDSs – седиментационный объем (мл), PC – содержание белка в зерне/муке (%; 14% m.b.; 12,5% m.b.), GPC – содержание белка в зерне, Mixtim – время смешивания (мин), Mixtol – устойчивость к замесу (мин; мм), LV – объем буханки хлеба (см³; мл), W – сила теста (10⁻⁴ J) и P/L – отношение упругости к растяжимости, и выявлению (определению) перспективных субъединиц.

Структура глютеинов

Структура HMW-GS.

Глютеин является запасным белком пшеницы и состоит из большого количества связанных между собой полипептидных цепей (субъединиц). В его состав входят две группы субъединиц, различающихся по подвижности в полиакриламидном геле и молекулярной массе: HMW-GS (80-130 кДа) и LMW-GS (30-50 кДа) (Gianibelli et al., 2001).

Структуру HMW-GS кодируют полиморфные гены *Glu*, локусы которых (*Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1*) расположены в длинных плечах первой гомеологичной группы хромосом 1AL, 1BL и 1DL (Payne et al. 1984) (рис. 1).

Уникальность большинства белков глютеина с высокой молекулярной массой заключается в образовании так называемых «парных» субъединиц, различающихся по размеру (Rabinovich et al., 1998). Каждый локус *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1* несет два тесно сцепленных гена, экспрессирующих субъединицы α - и ω -типов с молекулярными

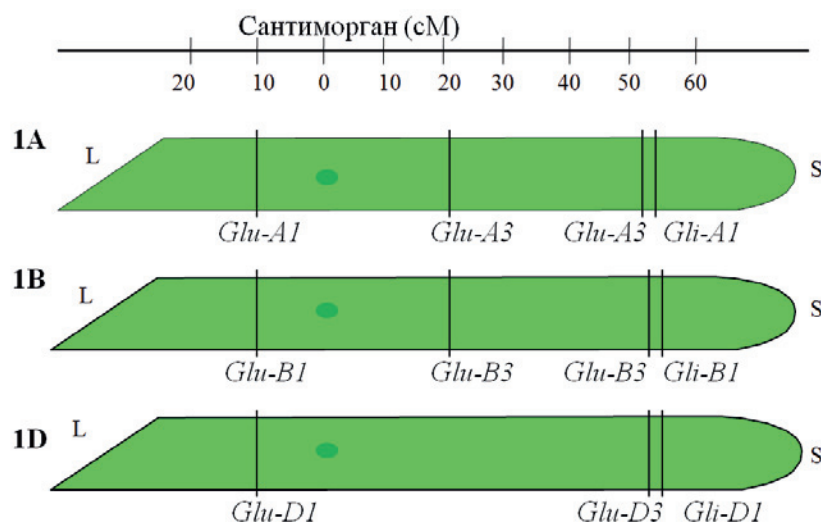


Рис. 1. Хромосомная локализация генов основных групп запасных белков семян вида *Triticum aestivum* L. (по P. R. Shewry et al., 1992)

Fig. 1. Chromosomal location of genes for major wheat protein groups of *Triticum aestivum* L. (from P. R. Shewry et al., 1992)

массами равными соответственно 83-88 и 67-74 кДа (Caballero et al., 2008a). Оба типа HMW-GS имеют сходную структуру: центральный повторяющийся домен, содержащий повторы из 6, 9, 15 аминокислот, и терминальные домены, состоящие преимущественно из остатков цистеина. HMW-GS α -типа имеют одну внутримолекулярную дисульфидную связь внутри N-конца, а γ -типа – две такие связи, что уменьшает количество остатков цистеинов, доступных для образования межмолекулярных связей. Субъединица Dx5, определяющая хорошее (высокое) качество, заметно отличается от аллельного варианта Dx2 (низкого качества) наличием дополнительного остатка цистеина на стыке N-концевого и повторяющегося доменов. Было высказано предположение, что этот

дополнительный цистеин связан с различным качеством продуктов, кодируемых этими аллелями, и образовыванием более длинных или более разветвленных полимеров (Greene et al., 1989) (рис. 2).

Однако не всегда получается объяснить влияние отдельных субъединиц на качественные характеристики зерна с биохимической точки зрения. Обнаружено положительное влияние на показатели хлебопечения и 2* аллельных вариантов 3+10 и 2* (Moonen et al., 1983), что объясняется наличием в структуре субъединицы 3 двух цистеиновых остатков, а в субъединице 10 – шести. Аналогичная конфигурация белка описана и у аллельного варианта 2+11, уступающего по технологическим свойствам аллельному варианту 3+10.

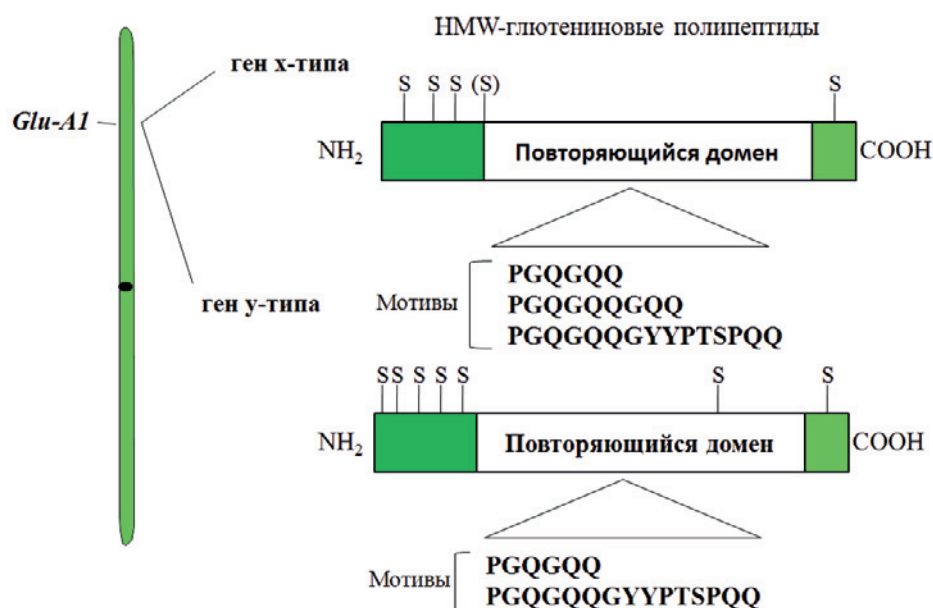


Рис. 2. Хромосомная локализация HMW-GS и структура кодируемых полипептидов вида *Triticum aestivum* L. (по F. C. Greene et al., 1988)

Fig. 2. Chromosomal location of the HMW-GS genes and the structure of the encoded polypeptides in *Triticum aestivum* L. (from F. C. Greene et al., 1988)

Об индивидуальном влиянии генов χ - и ψ -типов HMW-GS на качество зерна нет единого мнения. В одних исследованиях (Horvat et al., 2002) показано, что субъединицы ψ -типа у озимых сортов пшеницы важнее для улучшения хлебопекарных качеств, чем субъединицы χ -типа; в других (Popineau et al., 2001) – сверхэкспрессия 1D χ 5-субъединиц за счет модификации структуры глютена в трансгенных линиях пшеницы значительно увеличивала «силу муки».

Различия в качественном эффекте найдены и между субъединицами χ -типа. Пониженные показатели упругости, растяжимости и величины седиментации выявлены у линий пшеницы, экспрессирующих 1D χ 5-субъединицу, в сравнении с образцами, несущими 1A χ 1-субъединицу (Barro et al., 2003). Установлено, что экспрессия сразу нескольких субъединиц – 1A χ 1, 1D χ 5 и 1D ψ 10 – увеличивает подъемную силу муки, при этом субъединица 1D ψ 10 оказывает более сильный эффект, чем субъединицы 1A χ 1 и 1D χ 5 (León et al., 2009).

Типичная модель HMW-GS представлена большим центральным повторяющимся доменом (480–680 остатков аминокислот), окруженным уникальным N- (81–104 аминокислоты) и C-концами (42 аминокислоты). N-концевая область несет 3–5 остатков цистеина, а C-концевая область – 1 цистеиновый остаток (Miles et al., 1991), которые и обеспечивают образование межмолекулярных S-S связей с другими белковыми компонентами, формируя глютеиновый матрикс (Li W. et al., 2004). Согласно описанию Miles et al. (1991), пространственное расположение такой полипептидной цепи в N- и C-концевых аминокислотных звеньях представлено α -спиралью, а в повторяющейся области – β -витками, образованными по подобию спирали эластина (рис. 3).

в меньшей степени (Shmalko, 2011), что и отличает субъединицы, кодируемые генами *Glu-A1 χ 2** и *Glu-D1 χ 5*, от продуктов других генов глютеина (Popineau et al., 2001). Общеизвестно, что HMW-GS отличаются меньшим содержанием цистеина в сравнении с LMW-GS, что позволяет повысить значимость последних в образовании крупных белковых полимеров (Luo et al., 2005). В работе Maruyama-Funatsuki et al. (2004) также подтверждается, что обогащение твердых сортов пшеницы в большей степени LMW-GS значительно повышает прочность теста.

Структура LMW-GS.

Локусы LMW-GS (*Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-D3*) расположены в коротких плечах хромосом 1AS, 1BS, 1DS рядом с глиадиновыми локусами *Gli-1* (Payne et al. 1984) (см. рис. 1). В локусах *Glu-3* находятся мультигенные семейства, включающие 30–40 генов (Sabelli, Shewry, 1991).

LMW-GS разделяют на основе их структурных различий и молекулярной массы. Согласно номенклатуре, предложенной Lew et al. (1992), Cloutier et al. (2001), LMW-GS классифицировали на основе первого аминокислотного остатка в N-концевых последовательностях на LMW-s (остаток SHIPGL-), LMW-m (остаток METSH(R/C)I-) и LMW-i (остаток ISQQQQ-) (Masci et al., 2000). Carrillo et al. (1990) показали иную систематизацию глютеинов – на LMW-1 и LMW-2. Основное различие между этими двумя белками заключалось в 13 аминокислотах, содержащихся в повторяющихся доменах (D'Ovidio et al., 1999). По молекулярной массе LMW-GS разделяют на две группы – субъединицы В (40000–50000) и С (30000–40000) (Singh, Shepherd, 1988). Наибольшее внимание обращено на характеристику субъединиц В и D, тогда как С-субъединицы, хотя и представлены по большому коли-

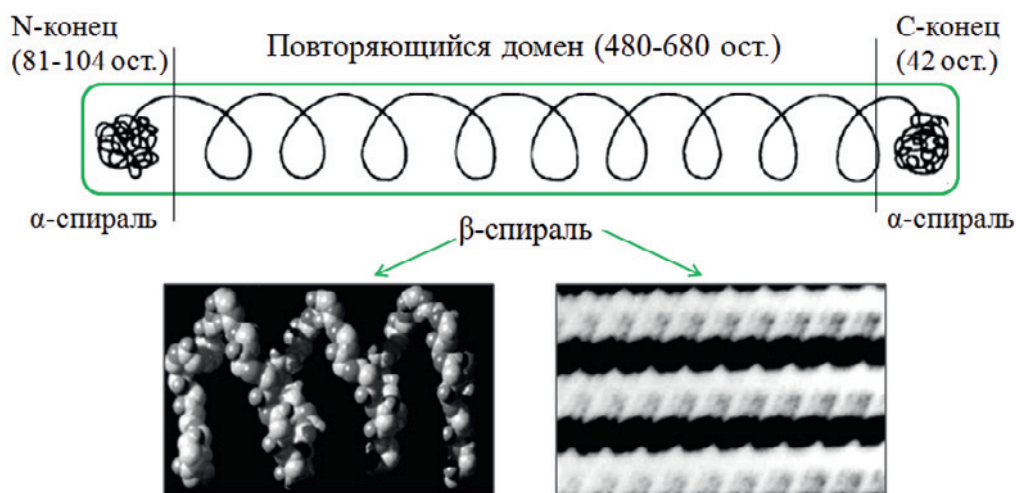


Рис. 3. Структурная модель HMW-GS (по P. R. Shewry et al., 1992)

Fig. 3. A structural HMW-GS model (from P. R. Shewry et al., 1992)

Поскольку в описанной модели поведение HMW-GS отличалось от белков соединительной ткани при взаимодействии с водой, позже она сменилась моделью «петель и цепей» (Field et al., 1987).

Роль дисульфидных мостиков в структуре HMW-GS была определена быстро (Kasarda et al., 1976). Стало известно, что большее количество дисульфидных связей между остатками цистеина делает глютен крепким, подверженным растворимости в разных растворителях

честву белковых компонентов, так тщательно охарактеризованы не были, ввиду возникновения сложностей их разделения с глиадинами. Показано, что аминокислотная последовательность белков С-типа на 95% совпадает с последовательностью глиадинов (Masci et al., 2002).

Структура молекул LMW-GS схожа с глиадинами ψ -типа. N-концевая половина полипептида состоит из повторяющихся последовательностей (богатых пролином, бедных цистеинами), а C-концевая часть – из уникаль-

ных последовательностей (бедных пролином, богатых цистеином). Существует также короткая уникальная N-концевая область (от 12 до 14 остатков), которая может содержать остаток цистеина. Предполагается, что LMW-GS содержат восемь остатков цистеина, которые участвуют в формировании внутри- и межмолекулярных дисульфидных связей в глютене (An et al., 2006). Позже с некоторыми аллелями LMW-GS (*Glu-A3 a, b* или *c*, *Glu-B3 b, c, d* или *e* и *Glu-D3 a, b* или *e*) была обнаружена корреляционная зависимость глиадиновых маркеров (GliA1.1, GliB1.1 и GliD1.1) (Zhang et al., 2003).

Генетический контроль глютеинов

HMW- и LMW-GS кодируются сложными локусами *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1* и *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-D3* соответственно. Аллельная вариабельность в этих локусах играет важную роль в определении качества муки (He et al., 2002).

Выявлен более высокий уровень полиморфизма генов в локусах *Glu-B1* и *Glu-D1* в сравнении с аллельной изменчивостью локуса *Glu-A1*.

Локус *Glu-B1* представлен следующим разнообразием аллелей: *Glu-B1a*(7), *Glu-B1b*(7+8), *Glu-B1c*(7+9), *Glu-B1d*(6+8), *Glu-B1e*(20), *Glu-B1f*(13+16), *Glu-B1g*(13+19), *Glu-B1h*(14+15), *Glu-B1i*(17+18) (Wang et al., 2006), *Glu-B1j*(21), *Glu-B1k*(22) (Nakamura, 2000), *Glu-B1ak*(7*+8*)¹, *Glu-B1c*(7*+9), *Glu-B1u*(7*+8) (Fomina et al., 2014), *Glu-B1al*(7^{OE}+8) (Cho et al., 2017), *Glu-B1?*(6+16), *Glu-B1?*(23+22)², *Glu-B1?*(7+22) (Li Y. et al., 2009), *Glu-B1?*(13+18), *Glu-B1?*(13+22), *Glu-B1?*(20+8), *Glu-B1?*(6*+16) (Moragues et al., 2006), *Glu-B1?*(15+16), *Glu-B1e*(20+20) (Magallanes-López et al., 2017).

Локус *Glu-D1* включает следующие аллели: *Glu-D1a*(2+12), *Glu-D1b*(3+12), *Glu-D1c*(4+12), *Glu-D1d*(5+10), *Glu-D1e*(2+10), *Glu-D1f*(2.2+12) (Nakamura, 2000).

В более полном объеме представлена информация полиморфизма генов локусов *Glu-A3* – *a*(6), *b*(5), *d*(6+11), *e*(11), *h*(null), *q*(5+10), *?*(8*), *?*(5+8*) и, соответственно, *Glu-B3* – *a*(2+4+15+19), *b*(8+9+13+16), *e*(2+4+15+16+18), *f*(2+4+15+17), *h*(1+3+14+18), *i*(5+7+8+14+18), *?*(13*+15+19), *?*(13+19) (Chacón et al., 2020).

Количество HMW-GS у разных видов пшеницы отличается: *T. aestivum* имеет от 3 до 5 субъединиц, *T. turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) Husn. – от 1 до 3 субъединиц (Payne et al., 1987). От доли запасных белков с высокой молекулярной массой зависит общее количество белка в зерне. Установлено, что сорта пшеницы с четырьмя HMW-GS содержат около 8% белка, а сорта с пятью субъединицами – около 10%. Также показано, что повышенное количество белка в генотипах ассоциируется с наличием субъединиц низкого качества (Seilmeier et al., 1991), что и объясняет наличие слабой клейковины и высокого содержания белка в китайских сортах мягкой пшеницы (He et al., 2002).

Стало известно, что чем больше синтезируется HMW-GS в зерне, тем лучше хлебопекарные качества полученной из него муки. Показано, что *T. kiharae* Dorof. & Migush. экспрессирует 7 HMW-GS, а исходные сорта мягкой пшеницы – по 4, что позволяет предположить перспективность использования *T. kiharae* для улучшения хлебопекарных свойств (Salmanowicz, Langner, 2007). Так, выде-

ленные линии пшеницы с аллелями локусов *Glu-1* от *T. kiharae*, нехарактерными для *T. aestivum*, отличались высоким содержанием белка, клейковины и стекловидностью зерна (Orlovskaya et al., 2018). В свою очередь улучшить качественные показатели спелости и тритикале удалось от скрещивания с мягкой пшеницей, содержащей аллель *d* локуса *Glu-D1* (Kremenevskaya et al., 2013; Sichkar et al., 2017).

Таким образом, HMW-GS состоят из малого количества компонентов и являются широко изученными, тогда как LMW-GS включают в себя большое количество полипептидов, а их структурная организация и свойства по отношению к качеству зерна пока не исследованы в той же степени, что и у HMW-GS.

Влияние глютеинов на качественные показатели зерна

Немаловажным остается вопрос установления взаимосвязи HMW- и LMW-GS с качественными характеристиками зерна. В настоящее время существует проблема изучения аллельного состава HMW- и LMW-GS и их влияния на качество хлебобулочных изделий, макарон (Liu et al., 2005; Vancini et al., 2019), а также открытым для исследователей остается вопрос о том, какие именно компоненты LMW-GS обеспечивают улучшенное хлебопекарное качество зерна и каково их взаимодействие с HMW-GS (Maruyama-Funatsuki et al., 2004).

За последние годы сделаны научные работы, описывающие вклад, вносимый в качество зерна различными типами LMW-GS. Считается, что сорт мягкой пшеницы 'Yecora Rojo' содержит наиболее распространенные глютеины типа LMW-s, имеющие выраженную связь как с хорошим качеством хлебопечения, так и с качеством макаронных изделий в твердых сортах, именуемых «типом LMW-2» (Masci et al., 2000). В повышении эластичных свойств теста могут участвовать и глютеины типа LMW-i, в частности недавно открытая субъединица с девятью остатками цистеина и молекулярной массой равной 42 кДа (Zhao et al., 2004).

Определено влияние на питательную ценность зерна и редко встречающихся HMW-GS (Johansson, Svensson, 1995; Zlatska, 2010): генотипы пшеницы, являющиеся носителями аллеля *Glu-B1al*(Bx7^{OE}+By8*), отличаются высокими показателями «силы муки» и объема хлеба, а сорта с аллелем *Glu-A1?*(21*) характеризуются лучшей величиной объема седиментации.

Компонентный состав зерен видов рода *Triticum* разнообразен (липиды, углеводы), поэтому утверждать, что HMW-GS являются единственными детерминантами качества хлебопечения, не совсем верно. Так, некоторые сорта пшеницы (например, сорт 'Hereward') имеют отличное качество, хотя несут HMW-GS плохого качества – 3+12 и 7+9 (Metakovsky et al., 1990).

Согласно литературным источникам, представленным в таблицах 2 и 3, качественные показатели зерна определяют, опираясь на использование следующих методик: седиментационный тест Рефа et al. (1990) и Axford et al. (1979); ААСС-метод – для определения SDS-седиментации; NIR-анализ – для определения содержания белка; ААСС-метод 54-40 А – для определения времени смешивания, устойчивости к замесу; методики Smak (1972), Meppelink (1981) – для определения объема буханки хлеба, ААСС-метод 10-09 – для определения силы теста, отношения упругости к растяжимости.

¹ «*», «>», «<» – для субъединиц характерна одинаковая электрофоретическая подвижность / subunits are characterized by similar electrophoretic mobility

² ? – данные по аллелям, ответственным за экспрессию указанных субъединиц, в статьях отсутствуют / published sources contain no data about the alleles responsible for the expression of the specified subunits

Среди многих методов, в том числе и перечисленных, SDS-седиментация является наиболее распространенным косвенным методом отбора на ранних этапах селекции ценного по качеству зерна. С его помощью определяется наиболее желательный состав глютеина для изготовления макаронных изделий (Dick, Quick 1983). На основе SDS-седиментации разработана балльная оценка хлебопекарных качеств, определяемых аллелями *Glu-1*, согласно которой каждой субъединице или «парной» комбинации субъединиц присваивается балл качества (табл. 1). Суммируя эти баллы, можно оценить вклад, вносимый фракцией HMW-глютеинов в качество хлеба (Payne et al., 1987).

Таблица 1. Показатели качества для единичных и «парных» HMW-GS
Table 1. Quality scores assigned to individual or “paired” HMW-GS

Балл	Локус		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>
4	–	–	5+10
3	1, 2*	17+18, 7+8	–
2	–	7+9	2+12, 3+12
1	N	7, 6+8	4+12
1	–	6+8	–

Однако данная оценка говорит лишь о потенциальных качествах сорта, поскольку качество и количество глютеина во многом зависит также и от условий окружающей среды, агротехники, степени повреждения зерна клопом-черепашкой и от ряда других факторов (Semenov et al., 2018).

Современная оценка влияния HMW- и LMW-GS на качество зерна

За последние годы накопилось достаточно сведений, позволяющих в полной мере оценить степень влияния HMW- и LMW-GS на качественные показатели зерна и выделить лучшие аллели кодирующих локусов. Среди локусов *Glu-1* большее влияние на хлебопекарное качество зерна вносит аллельная вариация генов, находящихся в локусах *Glu-A1* и *Glu-D1*, а среди локусов *Glu-3* – гены локуса *Glu-B3*, являющиеся важными улучшителями качества макаронных изделий (D'Ovidio et al., 1997; Horvat et al., 2002; Ram, 2003).

В данной работе проанализирован материал по уже известным аллелям локусов *Glu-1* и *Glu-3*. В таблицах 2 и 3 показана сила влияния этих аллелей (субъединиц) на следующий комплекс качественных показателей зерна: SDSs – седиментационный объем (мл), PC – содержание белка в зерне/муке (%; 14% m.b.; 12,5% m.b.), GPC – содержание белка в зерне, Mixtim – время смешивания (мин), Mixtol – устойчивость к замесу (мин; мм), LV – объем буханки хлеба (см³; мл), W – сила теста (10⁻⁴ J) и P/L – отношение упругости к растяжимости.

SDSs (мл). Исходя из результатов исследований, представленных в таблице 2, распределение HMW-GS по силе влияния на SDSs по большей части литературных источников (65%) подчиняется определенным закономерностям: субъединицы 1, контролируемые локусом,

13+16, 14+15 (локус *Glu-B1*) и 5+10 (локус *Glu-D1*) в сравнении с остальными субъединицами вносят больший вклад в количество осажденного белка.

PC (%; 14% m.b.; 12,5% m.b.). По PC выделены генотипы пшеницы со следующим аллельным составом: *Glu-A1a*, *Glu-B1h* и *Glu-B1i*, *Glu-D1a* и *Glu-D1d*. Неоднозначные результаты исследований, нуждающиеся в дальнейшем изучении, уточнении и доработке накопленного материала, прослеживаются по двум последним локусам.

GPC. Малое количество общедоступной информации, найденное при анализе GPC у изученных генотипов, не позволяет прийти к более обоснованным выводам и выделить лучшую маркерную субъединицу для данного по-

казателя. Однако, по уже имеющимся сведениям, возможная корреляция прослеживается между аллелем *Glu-A1c* и GPC.

Mixtim (мин) и Mixtol (мин; мм). В результате сравнительного изучения семи научных статей по двум качественным показателям (Mixtim и Mixtol) выделены субъединицы 1, кодируемая локусом *Glu-A1*, субъединицы 7+8 (локус *Glu-B1*) и субъединицы 5+10 (локус *Glu-D1*). Дальнейшая идентификация этих аллелей в генотипах позволит ускорить селекционный процесс по поиску лучших высококачественных сортов или линий пшеницы.

LV (см³; мл). Из пяти проанализированных статей выделены только три статьи, описывающие полученные сходных результатов исследований, в которых однозначно прослеживается превосходство субъединицы 5+10 (локус *Glu-D1*) в сравнении с субъединицами 2+12 и 2.2+12 по данному признаку. В большем накоплении сведений с целью выделения лучших субъединиц с высоким показателем LV нуждаются локусы *Glu-A1* и *Glu-B1*.

W (10⁻⁴ J). Лучшими маркерными аллелями показателя W явились *Glu-A1a* и *Glu-D1d*: их сила влияния на качественный признак значительна и подтверждена исследованиями.

P/L. Некоторые сведения для дальнейшего изучения влияния запасных белков на P/L известны, однако разнородность найденного материала пока не позволяет сделать каких-либо определенных выводов.

Анализ литературных данных, представленных в таблице 3, позволяет выделить из каждого локуса *Glu-3* аллель либо группу аллелей, оказывающих значительный эффект на качественные показатели зерна: *Glu-A3d*, *Glu-B3b* и *Glu-B3d* – на SDSs; *Glu-A3e* и *Glu-B3d* – на PC; *Glu-A3d* и *Glu-B3b* – на Mixtim; *Glu-A3d* и *Glu-B3d* – на Mixtol; *Glu-A3d* – на LV; *Glu-A3d* и *Glu-B3b* – на W.

Таблица 2. Сила влияния HMW-GS, кодируемых локусом *Glu-1* на качество зерна пшеницы
Table 2. Effect sizes for the influence of HMW-GS encoded by the *Glu-1* locus on wheat grain quality

Локус			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>			
SDSs (мл)					
1 ^a ×2 ^{*b} >N ^b	14+15 ^a >7+8 ^a >7+9 ^b	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
1 ^a >2 ^{*a} >N ^a	7 ^a >17+18 ^a >7+9 ^a >13+16 ^a >7+8 ^b	5+10 ^a >2+12 ^a	29	<i>T. aestivum</i> L.	(Figueroa et al., 2009)
1 ^a >2 ^{*a} >N ^b	13+16 ^a >13 [*] +16 ^a >13+18 ^a >6+18 ^b >20 ^b >6 ^b	2+12 ^a >2.5+12 ^b >3+12 ^b >5+10 ^b >2+12 ^b	26	<i>T. spelta</i> L.	(Caballero et al., 2008b)
VII ^a >I ^a >III ^a >N ^a	II ^a >7+8 ^b >XVII ^b >6+8 ^c >XV ^c >V ^d	-	29	<i>T. dicoccon</i> (Schrank) Schuebl.	
-	-	2.2+12 ^a >5+10 ^b	54	DH	(Kang et al., 2012)
1 ^a >2 ^{*b} >N ^b	14+15 ^a >7+8 ^a >7+9 ^b	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
1 ^a >N ^b >2 ^{*b}	14+15 ^a >7+8 ^b >7+9 ^c	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
1 ^a >2 ^{*b} >N ^c	-	5+10 ^a >2+12 ^b	272	<i>T. aestivum</i> L.	(Vancini et al., 2019)
2 ^{*a} >N ^b	3+10 ^a >2+11 ^b	-	60	<i>T. aestivum</i> L.	(Moonen et al., 1983)
1 ^a >N ^b >2 ^{*b}	13+16 ^a >7+8 ^a >7+9 ^b >14+15 ^b	5+10 ^a >2+12 ^b >4+12 ^b	104	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2010).
1 ^a >2 ^{*b} >N ^b	13+16 ^a >7+9 ^a >7+8 ^b >17+18 ^c	5+10 ^a >2+12 ^b	36	<i>T. aestivum</i> L.	
2 ^{*a} >1 ^a >N ^b	7+8 ^a >17+18 ^b >7+9 ^b	5+10 ^a >2+12 ^b	40	<i>T. aestivum</i> L.	(Rosa Filho, 1997)
-	-	5+10 ^a >2+12 ^b =3+12 ^c	-	<i>T. aestivum</i> L.	(Payne et al., 1981)
-	13+16 ^a , 6+8 ^a >20 ^b	-	172	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn., <i>T. aestivum</i> L.	(Ram, 2003)
1 ^a >2 ^{*a}	7 ^a >7+8 ^a >7+9 ^b =17+18 ^b	5+10 ^a >2+12 ^b	20	<i>T. aestivum</i> L.	(Kaya, Akcura, 2014)
-	7+9 ^a >6+8 ^b =13+16 ^b >7 ^c >7+8 ^d >20+20 ^e	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
-	-	5+10 ^a >2+12 ^b	422	<i>T. aestivum</i> L.	(Mohan, Gupta, 2015)
V ^a >1 ^b >N ^b >2 ^{*b}	7+8 ^a >6+8 ^b >13+16 ^c >20+20 ^d >32+33 ^e	-	158	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Chacón et al., 2020)

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Лocus			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>			
-	14+15 ^a >7+8 ^a , 20 ^a	-	289	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Brites, Carrillo, 2001)
2 ^a >N ^a >1 ^a	6+8 ^a >6 ^a +8 ^a >7+8 ^a >7+22 ^a >23+22 ^a >7+9 ^a >8 ^a >6+16 ^a >7 ^a >14+15 ^a	12 ^a >2+12 ^b >4+12 ^b >N ^c >2 ^d	615	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2009)
2 ^a >1 ^b >N ^c	7+9 ^a >13+16 ^a >7+8 ^a	2+12 ^a >5+10 ^b >2.2+12 ^c	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
1 ^a >2 ^b	17+18 ^a >7+9 ^b	2+12 ^a >5+10 ^b	239	<i>T. aestivum</i> L.	(Vyushkov et al., 2012)
PC (%; 14 % m.b.; 12,5 % m.b.)					
1 ^a >2 ^b =N ^b	14+15 ^a >7+8 ^b =7+9 ^b	5+10 ^a >2+12 ^a >4+12 ^a	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
1 ^a >2 ^b	7 ^a =7+9 ^a >17+18 ^b =7+8 ^b	5+10 ^a >2+12 ^b	20	<i>T. aestivum</i> L.	(Kaya, Akcura, 2014)
1 ^a >N ^a =2 ^b	13+16 ^a >7+9 ^b >7+8 ^c	2+12 ^a >5+10 ^a >2.2+12 ^a	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
1 ^a >N ^a >2 ^a	20 ^a >17+18 ^b =7+8 ^b =7+9 ^b	5+10 ^a >2+12 ^b	140	<i>T. aestivum</i> L.	(Sharma et al., 2012)
-	-	2.2+12 ^a >5+10 ^a	54	DH	(Kang et al., 2012)
N ^a >2 ^a >1 ^a	17+18 ^a >7+8 ^b >13+16 ^a >7+9 ^a	2+12 ^a >5+10 ^a	29	<i>T. aestivum</i> L.	(Figueroa et al., 2009)
1 ^a >2 ^b =N ^b	14+15 ^a >7+8 ^b =7+9 ^b	4+12 ^a >5+10 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
1 ^a >2 ^a =N ^a	14+15 ^a >7+8 ^b =7+9 ^a	5+10 ^a >2+12 ^a >4+12 ^a	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
1 ^a >N ^a >2 ^a >V ^a	20+20 ^a >13+16 ^b =6+8 ^b >32+33 ^b >7+8 ^c	-	158	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Chacón et al., 2020)
1 ^a >2 ^b	17+18 ^a >7+9 ^a	2+12 ^a >5+10 ^b	239	<i>T. aestivum</i> L.	(Vyushkov et al., 2012)
GPC					
N ^a >2 ^b >1 ^c	-	2+12 ^a >5+10 ^a	272	<i>T. aestivum</i> L.	(Vancini et al., 2019)
N ^a >1 ^a >2 ^a	13+16 ^a >7+8 ^b =14+15 ^b >7+9 ^b	4+12 ^a >5+10 ^a >2+12 ^a	104	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2010).

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Локус			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>			
Mixtim (мин)					
-	-	5+10 ^a >2.2+12 ^b	54	DH	(Kang et al., 2012)
1 ^a >2 ^{*b} >N ^b	7+8 ^a >14+15 ^b >7+9 ^c	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
N ^a >2 ^{*a} >1 ^a	7 ^a >13+16 ^a >17+18 ^a >7+9 ^a >7+8 ^a	5+10 ^a >2+12 ^b	29	<i>T. aestivum</i> L.	(Figueroa et al., 2009)
-	7 ^a >7+9 ^b =13+16 ^b >6+8 ^b >7+8 ^b >20+20 ^c	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
2 ^{*a} >1 ^b >N ^c	7+9 ^a >13+16 ^a >7+8 ^a	5+10 ^a >2+12 ^b >2.2+12 ^b	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
-	-	5+10 ^a >2.2+12 ^b	96	DH	(Ahn et al., 2014)
1 ^a >2 ^{*b} >N ^b	7+8 ^a >14+15 ^b >7+9 ^c	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
V ^a >N ^b >1 ^b >2 ^{*b}	7+8 ^a >13+16 ^a >6+8 ^a >32+33 ^a >20+20 ^a	-	158	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Chacón et al., 2020)
1 ^a >2 ^{*a} >N ^a	20 ^a =7+8 ^a >17+18 ^a >7+9 ^a	5+10 ^a >2+12 ^b	140	<i>T. aestivum</i> L.	(Sharma et al., 2012)
1 ^a >2 ^{*b} >N ^b	7+8 ^a >14+15 ^b >7+9 ^b	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
Mixtol (мин; мм)					
-	-	5+10 ^a >2.2+12 ^b	54	DH	(Kang et al., 2012)
1 ^a >2 ^{*b} =N ^b	7+8 ^a >14+15 ^b >7+9 ^c	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
1 ^a >2 ^{*a} >N ^a	7+9 ^a >7+8 ^a >13+16 ^a	5+10 ^a >2+12 ^b >2.2+12 ^c	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
-	-	5+10 ^a >2.2+12 ^b	96	DH	(Ahn et al., 2014)
1 ^a >2 ^{*b} =N ^b	7+8 ^a >14+15 ^b >7+9 ^c	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
1 ^a >2 ^{*b} =N ^b	7+8 ^a >14+15 ^b >7+9 ^c	5+10 ^a >4+12 ^b >2+12 ^b	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Локус			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>			
IV (cm³; мл)					
2 ^a , 1 ^a >N ^b , 2 ^a >1 ^c	-	3+10 ^a >2+11 ^b	60	<i>T. aestivum</i> L.	(Moonen et al., 1983)
2 ^a > 1 ^a >N ^b	7+8 ^a >7+9 ^a >13+16 ^a	5+10 ^a >2+12 ^b >2.2+12 ^b	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
-	-	5+10 ^a >2.2+12 ^b	96	DH	(Ahn et al., 2014)
-	13+16 ^a >7+9 ^b >6+8 ^b >7<7+8<20+20 ^c	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
1 ^a >2 ^a ^b	17+18 ^a >7+9 ^a	5+10 ^a >2+12 ^a	239	<i>T. aestivum</i> L.	(Vyushkov et al., 2012)
W (10 ⁻⁴ J)					
N ^a >1 ^a >2 ^a	17+18 ^a >7 ^a >7+9 ^b >13+16 ^b >7+8 ^c	5+10 ^a >2+12 ^b	29	<i>T. aestivum</i> L.	(Figueroa et al., 2009)
-	7 ^a >13+16 ^a >7+9 ^b >6+8 ^c >7+8 ^d >20+20 ^f	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
1 ^a >2 ^a >N ^b	7+9 ^a >7+8 ^a >13+16 ^b >17+18 ^b	5+10 ^a >2+12 ^b	36	<i>T. aestivum</i> L.	(Rosa Filho, 1997)
1 ^a >2 ^a >N ^b	7+8 ^a >17+18 ^a >7+9 ^b	5+10 ^a >2+12 ^a	40	<i>T. aestivum</i> L.	
1 ^a >2 ^a ^b >N ^c	-	5+10 ^a >2+12 ^b	272	<i>T. aestivum</i> L.	(Vancini et al., 2019)
P/L					
1 ^a >N ^a >2 ^a	13+16 ^a >17+18 ^a >7+9 ^a >7 ^a >7+8 ^a	5+10 ^a >2+12 ^b	29	<i>T. aestivum</i> L.	(Figueroa et al., 2009)
2 ^a >N ^a >1 ^a	-	2+12 ^a >5+10 ^b	272	<i>T. aestivum</i> L.	(Vancini et al., 2019)
-	7 ^a >7+8 ^b >7+9<13+16 ^d >6+8 ^d >20+20 ^e	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)

Примечание: «n» – количество генотипов; «DH» – удвоенные гаплоидные линии, полученные от скрещивания *T. turgidum* subsp. *durum* × *T. aestivum*; «x» – средние значения, сопровождаемые разными буквами, достоверно отличаются в пределах каждой аллельной вариационной группы

Note: “n” is the number of genotypes; “DH” are doubled haploid lines from the cross *T. turgidum* subsp. *durum* × *T. aestivum*; “x” are mean values with different indexes that significantly differ within each allelic group

Таблица 3. Сила влияния аллелей LMW-GS локуса *Glu-1* на качество зерна пшеницы
Table 3. Effect sizes for the influence of LMW-GS alleles at the *Glu-1* locus on wheat grain quality

Локус			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>			
SDSs (мл)					
$d^{a^x} > a^b > c^c > e^d$	$d^a > b^b > f^b > j^c$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
$b^a > a^a > d^a$	$b^a > h^a > d^b > f^b > j^b$	-	104	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2010)
$b^a > a^a > d^a > e^a > c^a$	$d^b > c^b > g^b > b^b > f^b > j^c > a^c$	-	615	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2009)
$d^a > a^b > c^b > e^c$	$d^a > f^b > b^b > j^c$	-	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
$d^a > c^a > e^a > b^b$	$b^a > h^b > f^c > d^b > 1B.1R^e > g^f$	$c^a > a^a > b^b$	36	<i>T. aestivum</i> L.	(Rosa Filho, 1997)
$d^a > c^a > e^a > b^b$	$b^a > d^b > h^c > f^d > 1B.1R^f > g^g$	-	40	<i>T. aestivum</i> L.	
$d^a > e^a > c^a$	$b^a > h^a > d^b > i^a$	$b^a > c^a > a^a$	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
$a^a > d^a > h^a > b^b$	$a^a > c^a > b^b > f^b$	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
$d^a > a^a > c^a > e^a$	$d^a > b^b > f^b > j^c$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
$b^a > d^b > a^c = c^c > e^d = f^d$	$g^a > b^b = h^b > e^c = f^c > j^d$	$a^a = b^a > c^b > d^c$	20	<i>T. aestivum</i> L.	(Kaya, Akcura, 2014)
-	$h^a > d^b$	-	54	DH	(Kang et al., 2012)
$5 + 8^a > a^b > N^c > 8^{c^c} > q^d > b^d > e > d$	$?(13^* + 15 + 19)^a > 13 + 19^b > a^b > e^b > f^b > 13^* + 15 + 19^c > f^c > h^c > b^c$	-	158	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Chacón et al., 2020)
PC (%; 14% m.b.; 12,5% m.b.)					
$e^a > d^b > a^c > c^c$	$d^a = b^a > f^a = j^a$	-	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
$d^a > b^a = c^a = e^a / f^a$	$j^a > b^a = h^a = i^a > g^a$	$i^a > a^a > b^a = g^a$	140	<i>T. aestivum</i> L.	(Sharma et al., 2012)
$e^a > c^a > d^a$	$b^a > h^a = i^a > d^b$	$a^a > b^b > c^c$	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
$e^a > d^b > a^b > c^c$	$d^a > b^a > f^b = j^b$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
$b^a > e^b = d^b > a^c > c^c > f^d$	$f^a = g^a > b^b > e^c = h^c = j^c$	$a^a = b^a > c^b = d^b$	20	<i>T. aestivum</i> L.	(Kaya, Akcura, 2014)
-	$h^a > d^a$	-	54	DH	(Kang et al., 2012)
$b^a > d^b > a^c > h^c > q^c = 8^{*c} > 5 + 8^{*c} > e^d$	$i^a > h^a > e^b > a^b > 13 + 19^b > b^b > f^b > 13^* + 15 + 19^c$	-	158	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Chacón et al., 2020)
$e^a > d^b > a^b > c^c$	$d^a > b^a > f^b = j^b$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)

Таблица 3. Продолжение
Table 3. Continued

Локус			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>			
GPC					
$a^3>b^3>d^3$	$b^3>f^3=j^3>d^3=h^3$	-	104	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2010)
Mixtim (мин)					
$b^3>a^3>c^3>e^d$	$d^3>b^3=f^3>j^3$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
$a^3>h^3>d^3>b^3$	$a^3>c^3>b^3>f^3$	-	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
$d^3>c^3>e^3$	$h^3>d^3>b^3>i^3$	$b^3>c^3>a^3$	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
$d^3>a^3>c^3>e^d$	$d^3>f^3>b^3>j^d$	-	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
$d^3>e/f^3>b^3>c^d$	$g^3>b^3>j^3=i^3=h^3$	$b^3>a^3=g^3>i^3$	140	<i>T. aestivum</i> L.	(Sharma et al., 2012)
$b^3>d^3=a^3$	$d^3=b^3=f^3=h^3>j^3$	-	104	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2010)
$d^3>a^3>c^3>e^b$	$d^3>b^3=f^3>j^3$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
-	$d^3>h^3$	-	54	DH	(Kang et al., 2012)
$d^3>c^3$	$d^3>h^3$	-	96	DH	(Ahn et al., 2014)
$5+8^{*a}>8^{*a}>a^3>b^3>N^3>q^3>e^3>d^3$	$a^3>e^3>13^{*}+15+19^3>b^3>h^3>i^3>f^3$	-	158	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Chacón et al., 2020)
Mixtol (мин; мм)					
$d^3>a^3>c^3>e^d$	$d^3>f^3>b^3>j^d$	-	250	<i>T. aestivum</i> L.	(He et al., 2004)
$b^3>a^3>d^3$	$b^3>h^3>d^3>j^3>f^3$	-	104	<i>T. aestivum</i> L.	(Li Y. et al., 2010)
$d^3>d^3>c^3>e^3$	$d^3>f^3>b^3>j^3$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Li L. et al., 2005)
-	$d^3>h^3$	-	54	DH	(Kang et al., 2012)
$d^3>d^3>c^3>e^3$	$d^3>f^3>b^3>j^3$	-	251	<i>T. aestivum</i> L.	(Liu et al., 2005)
$c^3=d^3$	$d^3>h^3$	-	96	DH	(Ahn et al., 2014)
$d^3>c^3>e^3$	$h^3>d^3>i^3>b^3$	$b^3>c^3>a^3$	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)

Таблица 3. Окончание
Table 3. The end

Локус			n	Вид пшеницы (<i>Triticum</i> L.)	Источник
<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>			
LV (см³; мл)					
$d^a>c^a$	$d^a>h^a$	–	96	DH	(Ahn et al., 2014)
$d^a>d^b>h^c>b^d$	$a^a>c^b>b^c>f^c$	–	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
$e^a>c^a>d^a$	$h^a>f^b>b^b>d^c$	$b^a>a^a>c^a$	26	<i>T. aestivum</i> L.	(Park et al., 2011)
W (10⁻⁴ J)					
$d^a>a^a>h^b>b^c$	$a^a>c^a>f^b>b^b$	–	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)
$d^a>c^b>e^c>b^d$	$b^a>h^a>d^b>f^b>1B.1R^b>g^b$	$c^a>a^b>b^c$	36	<i>T. aestivum</i> L.	(Rosa Filho, 1997)
$d^a>b^a>c^b>e^b$	$b^a>d^b>f^b>h^b>1B.1R^c>g^c$	–	40	<i>T. aestivum</i> L.	
P/L					
$d^a>a^b>h^c>b^c$	$c^a>a^b>f^c>b^d$	–	46	<i>T. turgidum</i> L. subsp. <i>durum</i> (Desf.) Husn.	(Magallanes-López et al., 2017)

Примечание: то же, что в таблице 2

Note: same as in table 2

В итоге, согласно 22 проанализированным литературным источникам, среди локусов *Glu-1* и *Glu-3* выделена комбинация аллельных генов глютеина, вносящая значительный вклад в качество хлебобучных [*Glu-A1a*, *Glu-B1(b, f, h)*, *Glu-D1d*] и макаронных изделий [*Glu-A3d* и *Glu-B3d*].

Заключение

Исходя из итоговых результатов научных статей выделен окончательный вариант аллельных генов – *Glu-A1a*, *Glu-B1(b, f, h)*, *Glu-D1d*, *Glu-A3d*, *Glu-B3d*, являющихся лучшими белковыми маркерами в идентификации генотипов пшеницы с высокими хлебопекарными и макаронными свойствами. Однако имеются и те субъединицы (Bx7^{0E}+By8*, 21*), генетический потенциал которых еще не до конца изучен.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий № 0534-2019-0013 «Использование молекулярно-генетических методов исследований в селекции растений».

The research was implemented within the framework of the State Task for the Federal Altai Scientific Centre of Agro-Bio-Technologies, No. 0534-2019-001 "The use of molecular genetic research methods in plant breeding".

References / Литература

- Ahn J.H., Kang C.S., Jeung J.U., Baik B.K., Peña R.J., Park C.S. Effect of allelic variations at the *Glu-D1*, *Glu-A3*, *Glu-B3* and *Pinb-D1* loci on flour characteristics and bread loaf volume. *International Food Research Journal*. 2014;21(3):1141-1149.
- An X., Li Q., Yan Y., Xiao Y., Xsam S.L.K., Zeller F.J. Genetic diversity of European spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. em. Thell.) revealed by glutenin subunit variations at the *Glu-1* and *Gli-3* loci. *Euphytica*. 2005;146(3):193-201. DOI: 10.1007/s10681-005-9002-6
- An X., Zhang Q., Yan Y., Li Q., Zhang Y., Wang A. et al. Cloning and molecular characterization of three novel LMW-i glutenin subunit genes from cultivated einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;113(3):383-395. DOI: 10.1007/s00122-006-0299-x
- Andersen J.R., Lübberstedt T. Functional markers in plants. *Trends in Plant Science*. 2003;8(11):554-560. DOI: 10.1016/j.tplants.2003.09.010
- Anjum F.M., Khan M.R., Din A., Saeed M., Pasha I., Arshad M.U. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits – structure, genetics, and relation to dough elasticity. *Journal of Food Science*. 2007;72(3):56-63. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x
- Axford D.W.E., McDermott E.E., Redman D.G. Small-scale tests of bread-making quality. *Milling Feed and Fertilizer*. 1978;161:18-20.
- Barro F., Barceló P., Lazzeri P.A., Shewry P.R., Ballesteros J., Martin A. Functional properties of flours from field grown transgenic wheat lines expressing the HMW glutenin subunit *1Ax1* and *1Dx5* genes. *Molecular Breeding*. 2003;12(3):223-229. DOI: 10.1023/A:1026367214120
- Branlard G., Dardevet R., Saccomano F., Lagoutte F., Gourdon J. Genetics diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica*. 2001;119(1-2):59-67. DOI: 10.1023/A:1017586220359
- Brites C., Carrillo J.M. Influence of high molecular weight (HMW) and low molecular weight (LMW) glutenin subunits controlled by *Glu-1* and *Glu-3* loci on durum wheat quality. *Cereal Chemistry*. 2001;78(1):59-63. DOI: 10.1094/CCHEM.2001.78.1.59
- Caballero L., Martin L.M., Alvarez J.B. Relationships between the HMW- and LMW-glutenin subunits and SDS-sedimentation volume in Spanish hulled wheat lines. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2008a;44(3):114-117. DOI: 10.17221/8/2008-CJGPB
- Caballero L., Martin L.M., Alvarez J.B. Variation of high molecular weight glutenin subunits in two neglected tetraploid wheat subspecies. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2008b;44(4):140-146. DOI: 10.17221/61/2008-CJGPB
- Carrillo J.M., Rousset M., Qualset C.O., Kasarda D.D. Use of recombinant inbred lines of wheat for study of association of high-molecular-weight glutenin subunit alleles to quantitative traits: 1. Grain yield and quality prediction tests. *Theoretical and Applied Genetics*. 1990;79(3):321-330. DOI: 10.1007/BF01186074
- Chacón E.A., Vázquez F.J., Giraldo P., Carrillo J.M., Benavente E., Rodriguez-Quijano M. Allelic variation for prolamins in Spanish durum wheat landraces and its relationship with quality traits. *Agronomy*. 2020;10(1):136. DOI: 10.3390/agronomy10010136
- Cho S.W., Roy S.K., Chun J.B., Cho K., Park C.S. Overexpression of the Bx7 high molecular weight glutenin subunit on the *Glu-B1* locus in a Korean wheat landrace. *Plant Biotechnology Reports*. 2017;11(2):97-105. DOI: 10.1007/s11816-017-0434-y
- Chuprina Yu.Yu. Characterization of spring wheat germplasm accessions in the environments of the eastern Ukrainian forest-steppe (Kharakteristika kolektsionnykh obraztsov pshenitsy yarovoy v usloviyakh vostochnoy lesostepi Ukrainy). In: *Young Researchers of Agro-Industrial and Forestry Sectors – for the Regions (Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam). Proceedings of the V International Youth-Oriented Scientific and Practical Conference, April 23, 2019. Vologda; 2019. p.161-166. [in Russian] (Чуприна Ю.Ю. Характеристика коллекционных образцов пшеницы яровой в условиях восточной лесостепи Украины. В кн.: Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Материалы V Международной молодежной научно-практической конференции, 23 апреля 2019 г. Вологда; 2019. С.161-166).*
- Cloutier S., Rampitsch C., Penner G.A., Lukow O.M. Cloning and expression of a LMW-i glutenin gene. *Journal of Cereal Science*. 2001;33(2):143-154. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0359
- D'Ovidio R., Marchitelli C., Cardelli L.E., Porceddu E., Hart G.E. Sequence similarity between allelic *Glu-B3* genes related to quality properties of durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999;98(3-4):455-461. DOI: 10.1007/s001220051091
- Dick J.W., Quick J.S. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chemistry*. 1983;60(4):315-318.
- Du Cros D.L. Glutenin proteins and gluten strength in durum wheat. *Journal of Cereal Science*. 1987;5(1):3-12. DOI: 10.1016/S0733-5210(87)80003-6

- Duktova N.A. Development and evaluation for economically important traits of new spring durum wheat cultivars (*T. durum* Desf.) of various genetic origin (Sozdaniye i otsenka po khozyaystvenno-biologicheskim priznakam novykh obraztsov yarovoy tverдой pshenitsy (*T. durum* Desf.) razlichnogo geneticheskogo proiskhozhdeniya) [dissertation]. Gorki: Belarussian State Agricultural Academy; 2007. [in Russian] (Дуктова Н.А. Создание и оценка по хозяйственно-биологическим признакам новых образцов яровой твердой пшеницы (*T. durum* Desf.) различного генетического происхождения: дис. ... канд. с.-х. наук. Горки: Белорусская ГСХА; 2007).
- Field J.M., Tatham A.S., Shewry P.R. The structure of a high-Mr subunit of durum-wheat (*Triticum durum*) gluten. *Biochemical Journal*. 1987;247(1):215-221. DOI: 10.1042/bj2470215
- Figueroa J.D.C., Maucher T., Reule W., Peña R.J. Influence of high molecular weight glutenins on viscoelastic properties of intact wheat kernel and relation to functional properties of wheat dough. *Cereal Chemistry*. 2009;86(2):139-144. DOI: 10.1094/CCHEM-86-2-0139
- Fomina E.A., Kulinkovich S.N., Malyshev S.V., Urbanovich O.Y. Identification of HMW glutenin polymorphism in variety samples from collection and breeding nurseries of winter wheat. *Zemledeliye i selektsiya v Belarusi = Crop Husbandry and Plant Breeding in Belarus*. 2014;50:326-335. [in Russian] (Фомина Е.А., Куликович С.Н., Малышев С.В., Урбанович О.Ю. Идентификация полиморфизма НМВ глютеинов у сортообразцов из коллекционных и селекционных питомников озимой пшеницы. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2014;50:326-335).
- Gianibelli M.C., Larroque O., MacRitchie F., Wrigley C.W. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins. *Cereal Chemistry*. 2001;78(6):635-646. DOI: 10.1094/CCHEM.2001.78.6.635
- Gilbert S.M., Wellner N., Belton P.S., Greenfield J.A., Sili-gardi G., Shewry P.R. et al. Expression and characterisation of a highly repetitive peptide derived from a wheat seed storage protein. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Protein Structure and Molecular Enzymology*. 2000;1479(1-2):135-146. DOI: 10.1016/S0167-4838(00)00059-5
- Greene F.C., Anderson O.D., Yip R.E., Halford N.G., Romero J.M.M., Shewry P.R. Analysis of possible quality-related sequence variations in the 1D glutenin high molecular weight subunit genes of wheat. In: *Proceedings of the Seventh International Wheat Genetics Symposium, held at Cambridge, UK, 13–19 July 1988*. Cambridge; 1988. p.735-740.
- He Z.H., Lin Z.J., Wang L.J., Xiao Z.M., Wan F.S., Zhuang Q.S. Classification on Chinese wheat regions based on quality. *Scientia Agricultura Sinica*. 2002;35(4):359-364. [in Chinese]
- He Z.H., Liu L., Peña R.J. Allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of 1BL/1RS translocation, and their effect on dough properties of Chinese bread wheats. In: D. Lafandra, S. Masci, R. D'Ovidio (eds). *The Gluten Proteins. The Proceedings of the 8th Gluten Workshop held on 8–10 September 2003 in Viterbo, Italy*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry; 2004. p.97-100.
- Horvat C.A., Jurković Z., Sudar R., Pavlinić D., Simić G. The relative amount of HMW glutenin subunits of OS wheat cultivars in relation to bread-making quality. *Cereal Research Communications*. 2002;30:415-422. DOI: 10.1007/BF03543438
- Huang Y.C., Lai H.M. Noodle quality affected by different cereal starches. *Journal of Food Engineering*. 2010;97(2):135-143. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.10.002
- Johansson E., Svensson G. Contribution of the high molecular weight glutenin subunit 21* to breadmaking quality of Swedish wheats. *Cereal Chemistry*. 1995;72(3):287-290.
- Kang C.S., Jeung J.U., Baik B.K., Park C.S. Effects of allelic variations in *Wx-1*, *Glu-D1*, *Glu-B3*, and *Pinb-D1* loci on flour characteristics and white salted noodle-making quality of wheat flour. *Cereal Chemistry*. 2012;89(6):296-306. DOI: 10.1094/cchem-03-12-0034-r
- Kasarda D.D. Glutenin structure in relation to wheat quality. *Wheat is Unique*. 1989;277:302.
- Kasarda D.D., Bernardin J.E., Nimmo C.C. Wheat proteins. *Advances in Cereal Science and Technology*. 1976;1:158-236.
- Kaya Y., Akcura M. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology*. 2014;34(2):386-393. DOI: 10.1590/fst.2014.0041
- Kolpakova V.V., Molchanova E.N., Vasil'ev A.V., Chumikina L.V. Physicochemical properties of proteins from wheat grown under high contrast climatic conditions. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2007;43(3):347-355. DOI: 10.1134/S0003683807030180
- Kremenevskaya E.M., Grib S.I., Bushtevich V.N. Development of spring forms of hexaploid triticale with introgression of *Glu-D1* wheat locus. *Zemledeliye i selektsiya v Belarusi = Crop Husbandry and Plant Breeding in Belarus*. 2013;49:299-311. [in Russian] (Кременевская Е.М., Греб С.И., Буштевич В.Н. Создание яровых форм гексаплоидных тритикале с интрогрессией пшеничного локуса *Glu-D1*. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2013;49:299-311).
- Krupnov V.A., Krupnova O.V. Genetic architecture of grain protein content in wheat. *Russian Journal of Genetics*. 2012;48(2):129-138. DOI: 10.1134/S1022795412010139
- León E., Marín S., Giménez M.J., Piston F., Rodríguez-Quijano M., Shewry P.R. et al. Mixing properties and dough functionality of transgenic lines of a commercial wheat cultivar expressing the 1Ax1, 1D6x5 and 1Dy10 HMW glutenin subunit genes. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(1):148-156. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.08.002
- Lew E.J.L., Kuzmicky D.D., Kasarda D.D. Characterization of low-molecular-weight glutenin subunits by reverse-phase high-performance liquid chromatography, sodium dodecyl sulphate-polyacrylamide gel electrophoresis, and N-terminal amino acid sequencing. *Cereal Chemistry*. 1992;69(5):508-515.
- Li L., Jun Y., Yan Z., Zhonghu H., Peña-Bautista R.J., Li-Ping Z. Allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci and presence of 1B/1R translocation, and their effects on processing quality in cultivars and advanced lines from autumn-sown wheat regions in China. *Scientia Agricultura Sinica*. 2005;38(10):1944-1950. [in Chinese]
- Li W., Zhang P., Fellers J.P., Friebe B., Gill B.S. Sequence composition, organization, and evolution of the core *Triticaceae* genome. *The Plant Journal*. 2004;40(4):500-511. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2004.02228.x
- Li Y., Huang C., Sui X., Fan Q., Li G., Chu X. Genetic variation of wheat glutenin subunits between landraces and varieties and their contributions to wheat quality improvement in China. *Euphytica*. 2009;169(2):159-168. DOI: 10.1007/s10681-009-9905-8

- Li Y., Zhou R., Branlard G., Jia J. Development of introgression lines with 18 alleles of glutenin subunits and evaluation of the effects of various alleles on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*. 2010;51(1):127-133. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.10.008
- Liu L., He Z., Yan J., Zhang Y., Xia X., Peña R.J. Allelic variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on mixographic properties in Chinese bread wheats. *Euphytica*. 2005;142(3):197-204. DOI: 10.1007/s10681-005-1682-4
- Luo Z., Chen F., Feng D., Xia G. LMW-GS genes in *Agropyron elongatum* and their potential value in wheat breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(2):272-280. DOI: 10.1007/s00122-005-2021-9
- Magallanes-López A.M., Ammar K., Morales-Dorantes A., González-Santoyo H., Crossa J., Guzmán C. Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenins composition. *Journal of Cereal Science*. 2017;75:1-9. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.03.005
- Marcussen T., Sandve S.R., Heier L., Spannagl M., Pfeifer M.; The International Wheat Genome Sequencing Consortium et al. Ancient hybridizations among the ancestral genomes of bread wheat. *Science*. 2014;345(6194):1250092. DOI: 10.1126/science.1250092
- Maruyama-Funatsuki W., Takata K., Nishio Z., Tabiki T., Yahata E., Kato A. et al. Identification of low-molecular weight glutenin subunits of wheat associated with bread-making quality. *Plant Breeding*. 2004;123(4):355-360. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2004.00978.x
- Masci S., D'Ovidio R., Lafiandra D., Kasarda D.D. A 1B-coded low-molecular-weight glutenin subunit associated with quality in durum wheats shows strong similarity to a subunit present in some bread wheat cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000;100(3):396-400. DOI: 10.1007/s001220050052
- Masci S., Rovelli L., Kasarda D.D., Vensel W.H., Lafiandra D. Characterisation and chromosomal localisation of C-type low-molecular-weight glutenin subunits in the bread wheat cultivar Chinese Spring. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;104(2-3):422-428. DOI: 10.1007/s001220100761
- Meppelink E.K. Einsatzmöglichkeit des Microbackversuches in der Weizenzüchtung. *Getreide, Mehl und Brot*. 1981;35:107-109. [in German]
- Metakovsky E.V., Wrigley C.W., Bekes F., Gupta R.B. Gluten polypeptides as useful genetic markers of dough quality in Australian wheats. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1990;41(2):289-306. DOI: 10.1071/AR9900289
- Mikulovich T.P. (ed.). Plant protein (Rastitelny belok). Moscow: Agropromizdat; 1991. [in Russian] (Растительный белок / под ред. Т.П. Микулович. Москва: Агропромиздат; 1991).
- Miles M.J., Carr H.J., McMaster T., l'Anson K.J., Belton P.S., Morris V.J. et al. Scanning tunneling microscopy of a wheat seed storage protein reveals details of an unusual supersecondary structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1991;88(1):68-71. DOI: 10.1073/pnas.88.1.68
- Mohan D., Gupta R.K. Gluten characteristics imparting bread quality in wheats differing for high molecular weight glutenin subunits at *Glu D1* locus. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2015;21(3):447-451. DOI: 10.1007/s12298-015-0298-y
- Moonen J.H.E., Scheepstra A., Graveland A.; Centraal Instituut voor Voedingsonderzoek TNO. The positive effects of the high molecular weight subunits 3+10 and 2* of glutenin on the bread-making quality of wheat cultivars. *Euphytica*. 1983;32(3):735-742. DOI: 10.1007/bf00042153
- Moragues M., Zarco-Hernández J., Moralejo M.A., Royo C. Genetic diversity of glutenin protein subunits composition in durum wheat landraces [*Triticum turgidum* ssp. *turgidum* convar. *durum* (Desf.) MacKey] from the Mediterranean basin. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2006;53(5):993-1002. DOI: 10.1007/s10722-004-7367-3
- Nakamura H. Genetic diversity of high-molecular-weight glutenin subunit compositions in landraces of hexaploid wheat from Japan. *Euphytica*. 2000;120(2):227-234. DOI: 10.1023/A:1017514423061
- Nechaev A.P., Dubtsova G.N., Kolpakova V.V. Wheat proteins. Production technology and application (state, problems, ways of development) (Belki pshenitsy. Tekhnologiya polucheniya i primeneniya [sostoyanie, problemy, puti razvitiya]). *Food Technology*. 1995;1-2(224-225):28-30. [in Russian] (Нечаев А.П., Дубцова Г.Н., Колпакова В.В. Белки пшеницы. Технология получения и применения (состояние, проблемы, пути развития). Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1995;1-2(224-225):28-30).
- Orlovskaya O.A., Vakula S.I., Khotyleva L.V., Kilchevsky A.V. Grain quality in soft wheat lines with genetic material of *Triticum kiharae* (Kachestvo zerna u liniy myagkoj pshenitsy s geneticheskim materialom *Triticum kiharae*). *Faktory eksperimentalnoy evolyutsii organizmiv = Factors of Experimental Evolution of Organisms*. 2018;(23):108-113. [in Russian] (Орловская О.А., Вакула С.И., Хотылева Л.В., Кильчевский А.В. Качество зерна у линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Triticum kiharae*. Факторы экспериментальной эволюции организмов. 2018;(23):108-113).
- Park C.S., Kang C.S., Jeung J.U., Woo S.H. Influence of allelic variations in glutenin on the quality of pan bread and white salted noodles made from Korean wheat cultivars. *Euphytica*. 2011;180(2):235-250. DOI: 10.1007/s10681-011-0385-2
- Payne P.I., Corfield K.G., Holt L.M., Blackman J.A. Correlations between the inheritance of certain high-molecular weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1981;32(1):51-60. DOI: 10.1002/jsfa.2740320109
- Payne P.I., Holt L.M., Jackson E.A., Law C.N. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences*. 1984;304:359-371. DOI: 10.1098/rstb.1984.0031
- Payne P.I., Seekings J.A., Worland A.J., Jarvis M.G., Holt L.M. Allelic variation of glutenin subunits and gliadins and its effect on breadmaking quality in wheat: Analysis of F5 progeny from Chinese Spring × Chinese Spring (Hope 1A). *Journal of Cereal Science*. 1987;6(2):103-118. DOI: 10.1016/S0733-5210(87)80047-4
- Peña R.J., Amaya A., Rajaram S., Mujeeb-Kazi A. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B.1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science*. 1990;12:105-112. DOI: 10.1016/S0733-5210(09)80092-1
- Podgorny S.V., Samofalov A.P., Skripka O.V. Genetic sources of high content and quality of protein for soft winter wheat breeding. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016;6(148):51-55. [in Russian] (Подгорный С.В., Самофалов А.П., Скрипка О.В. Генетические источники высокого содержания и качества белка для селекции озимых).

- мой мягкой пшеницы. *Аграрный вестник Урала*. 2016;6(148):51-55).
- Popereya F.O. Three main genetic systems for grain quality in winter bread wheat (Tri osnovni genetichni sistemi yakosti zerna ozimoy myakoy pshenitsi). In: *Implementing the potential of cultivars and hybrids from the Breeding and Genetics Institute in the environments of Ukraine. Collection of scientific papers of the BGI (Realizatsiya potentsiynikh mozhlivostey sortiv ta gibridiv Selektsiynogenetichnogo institutu v umovakh Ukraini. Zb. nauk. prats SGI)*. Odesa; 1996. p.117-132. [in Ukrainian] (Попереля Ф.О. Три основні генетичні системи якості зерна озимої м'якої пшениці. В кн. *Реалізація потенційних можливостей сортів та гібридів Селекційно-генетичного інституту в умовах України. Зб. наук. праць СГІ*. Одеса; 1996. С. 117-132).
- Porpneau Y., Deshayes G., Lefebvre J., Fido R., Tatham A.S., Shewry P.R. Prolamin aggregation, gluten viscoelasticity, and mixing properties of transgenic wheat lines expressing 1Ax and 1Dx high molecular weight glutenin subunit transgenes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001;49(1):395-401. DOI: 10.1021/jf001015j
- Rabinovich S.V., Panchenko I.A., Parchomenko R.G., Bondarenko V.N. High-molecular weight glutenin subunit composition of spring bread wheats grown in the Ukraine and the Russian Federation between 1995-97 and its connection with pedigrees. *Annual Wheat Newsletter*. 1998;44:236-251.
- Ram S. High molecular weight glutenin subunit composition of Indian wheats and their relationships with dough strength. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 2003;12(2):151-155. DOI: 10.1007/bf03263177
- Ribeiro M., Carvalho C., Carnide V., Guedes-Pinto H., Igrejas G. Towards allelic diversity in the storage proteins of old and currently growing tetraploid and hexaploid wheats in Portugal. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2011;58(7):1051-1073.
- Rosa Filho O. Effect of the six glutenin loci on selected bread quality traits in wheat [dissertation]. Corvallis: Oregon State University; 1997.
- Sabelli P.A., Shewry P.R. Characterization and organization of gene families at the *Gli-1* loci of bread and durum wheats by restriction fragment analysis. *Theoretical and Applied Genetics*. 1991;83(2):209-216. DOI: 10.1007/BF00226253
- Salmanowicz B.P., Langner M. Identification and characterization of high-molecular-weight glutenin genes in Polish triticale cultivars by PCR-based DNA markers. *Journal of Applied Genetics*. 2007;48(4):347-357. DOI: 10.1007/BF03195231
- Seilmeier W., Belitz H.D., Wieser H. Separation and quantitative determination of high molecular weight subunits of glutenin from different wheat varieties and genetic variants of the variety Sicco. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 1991;192:124-129. DOI: 10.1007/BF01202625
- Semenov O.G., Divashur M.G., Shangeshapvako H.G., Plushikov V.G., Hupacaria T.I., Vvedensky V.V. et al. Specificity of combinations of qualitative and quantitative characteristics of glucovine in genotypes of alloctoplasmatic spruce wheat with allele of wild type *Wx-B1a*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2018;13(1):14-25. [in Russian] (Семенов О.Г., Дивашук М.Г., Шангешапувако Х.Г., Плющиков В.Г., Хупацария Т.И., Введенский В.В. и др. Специфика сочетаний качественных и количественных характеристик клейковины у генотипов аллоцитоплазматической яровой пшеницы с аллелем *Wx-B1a*. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2018;13(1):14-25).
- Sharma S., Ram S., Gupta R. Relationship of high and low molecular weight glutenins with chemical and rheological properties of wheat flour. *Journal of Wheat Research*. 2012;4(1):74-78.
- Shewry P.R., Halford N.G., Tatham A.S. High molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of cereal science*. 1992;15(2):105-120. DOI: 10.1016/S0733-5210(09)80062-3
- Shmalko N.A. Comparative analysis of protein-proteinase complex of breadwheat and amaranth flours. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2011;2(21):84-88. [in Russian] (Шмалько Н.А. Сравнительный анализ белково-протеиназного комплекса хлебопекарной пшеничной и амарантовой муки. *Техника и технология пищевых производств*. 2011;2(21):84-88).
- Sichkar S.N., Velykozhon L.G., Dubrovna O.V. Molecular genetic analysis and baking properties of hybrids *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika = Molecular and Applied Genetics*. 2017;22:96-103. [in Russian] (Сичкар С.Н., Великожон Л.Г., Дубровная О.В. Молекулярно-генетический анализ и хлебопекарные качества гибридов *Triticum spelta* L. × *Triticum aestivum* L. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2017;22:96-103).
- Singh N.K., Shepherd K.W. Linkage mapping of genes controlling endosperm storage proteins in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 1988;75(4):628-641. DOI: 10.1007/BF00289132
- Smak C. New approach to determine the brownness of bread crust. Correlation between crust colour and protein content. *Cereal Chemistry*. 1972;49:554-560.
- Tanksley S.D. Mapping polygenes. *Annual review of genetics*. 1993;27(1):205-233. DOI: 10.1146/annurev.ge.27.120193.001225
- Vafin R.R., Abdulina I.R., Rzhanova I.V., Garaeva A.L., Tyulkin S.V., Askhadullin D.F. et al. Molecular approaches for identification of *Triticum aestivum* L genotypes by allelic variants of *Waxy*-genes and HMW glutenin subunits. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2):556-556. [in Russian] (Вафин Р.Р., Абдулина И.Р., Ржанова И.В., Гараева А.Л., Тюлькин С.В., Асхадуллин Д.Ф. и др. Молекулярные подходы к идентификации генотипов *Triticum aestivum* L. по аллельным вариантам *Ваху*-генов и HMW субъединиц глютеинов. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(2):556-556).
- Vancini C., Torres G.A.M., de Miranda M.Z., Consoli L., Bonow S., Grando M.F. Impact of high-molecular-weight glutenin alleles on wheat technological quality. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2019;54:e00639. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00639
- Vázquez J.F., Ruiz M., Nieto-Taladriz M.T., Albuquerque M.M. Effects on gluten strength of low M_r glutenin subunits coded by alleles at *Glu-A3* and *Glu-B3* loci in durum wheat. *Journal of Cereal Science*. 1996;24(2):125-130. DOI: 10.1006/jcrs.1996.0045
- Vyushkov A.A., Malchikov P.N., Syukov V.V., Shevchenko S.N. Breeding and genetic improvement of spring wheat (Selektionno-geneticheskoye uluchsheniye yarovoy pshenitsy). Samara: Samara Scientific Center of the RAS; 2012 [in Russian] (Вьюшков А.А., Мальчиков П.Н., Сюков В.В., Шевченко С.Н. Селекционно-генетическое улучшение яровой пшеницы. Самара: Самарский научный центр РАН; 2012).

- Wang H.Y., Wei Y.M., Yan Z.H., Zheng Y.L. Genetic variation of gliadin and HMW glutenins subunits in durum wheat. *Journal of Agricultural Biotechnology*. 2006;14:721-727.
- Wheat, durum wheat, bread wheat (Pshenitsa, pshenitsa tverdaya, pshenitsa myagkaya). Analytical information web portal for homestead farming enterprises (Informatsionno-analiticheskiy portal dlya krestyanskikh fermerskikh hozyajstv). 2012. [in Russian] (Пшеница, пшеница твердая, пшеница мягкая. Информационно-аналитический портал для крестьянских фермерских хозяйств). 2012. URL: <http://fermer.zol.ru/a/15665/?module=a¶m1=15665> [дата обращения: 15.04.2015].
- Zhang W., Gianibelli M.C., Ma W., Rampling L., Gale K.R. Identification of SNPs and development of allele-specific PCR markers for gamma-gliadin alleles in *Triticum aestivum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;107(1):130-138. DOI: 10.1007/s00122-003-1223-2
- Zhang X., Zhang B.Q., Wu H.Y., Lu C.B., Lü G.F., Liu D.T. et al. Effect of high-molecular-weight glutenin subunit deletion on soft wheat quality properties and sugar-snap cookie quality estimated through near-isogenic lines. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018;17(5):1066-1073. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61729-5
- Zhao H., Wang R., Guo A., Hu S., Sun G. Development of primers specific for LMW-GS genes located on chromosome 1D and molecular characterization of a gene from *Glu-D3* complex locus in bread wheat. *Hereditas*. 2004;141(3):193-198. DOI: 10.1111/j.1601-5223.2004.01852.x
- Zlatska A.V. Identification of the *Glu-B1a1* allele of high-molecular weight glutenins and its impact on characteristics related to bread-making quality in wheats permitted for realization in Ukraine. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy = Crop Physiology and Biochemistry*. 2010;42(4):315-321. [in Ukrainian] (Злацька А.В. Ідентифікація алеля *Glu-B1a1* високомолекулярних глютенінів та його вплив на ознаки хлібопекарської якості у пшениць, придатних до поширення в Україні. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2010;42(4):315-321).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Воротынцева М.В. Степень влияния глютеинов на качество зерна как одного из сложных полигенных признаков рода *Triticum* (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):168-185. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-168-185

The effect of glutenins on grain quality as one of the complex polygenic traits in the genus *Triticum* (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):168-185. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-168-185

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-168-185>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись / The author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Vorotyntseva M.V. <https://orcid.org/0000-0001-8799-0681>

Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Южной и Юго-Восточной Азии¹

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-186-198



УДК 631.523(540)

Поступление/Received: 01.01.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

Н. П. ЛОСКУТОВА, Т. М. ОЗЕРСКАЯ

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ t.ozerskaya@vir.nw.ru

Mobilization of plant genetic resources from South and Southeast Asia

N. P. LOSKUTOVA, T. M. OZERSKAYA

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ t.ozerskaya@vir.nw.ru

Статья посвящена мобилизации генетических ресурсов растений в коллекцию ВИР с территории Филиппин, Бирмы, Лаоса и Вьетнама в результате экспедиционных обследований, выписки и обмена образцами. Всего было проведено четыре экспедиции, приходящиеся на конец 70-х и 80-е годы XX века.

В результате экспедиций было собрано и доставлено в Институт 2668 образцов. Наибольшее количество образцов было привлечено по зернобобовым (916), овощным (835) и крупяным культурам (653 образца). Кроме непосредственного сбора, постоянно проводилась выписка образцов.

В довоенный период с 1925 по 1941 г. в Институт поступило 396 образцов зерновых, крупяных, зернобобовых, овощных, технических и плодовых культур из Бирмы, Вьетнама, Французского Индокитая (с 1949 г. – Лаос) и Филиппин.

С 1946 по 2019 г. поступило 7928 образцов, в том числе рекордное количество образцов из Вьетнама – 7840. Такое значительное количество образцов можно объяснить деятельностью в 80-е и начале 90-х годов советских селекционных пунктов в г. Лай Чу (провинция Лайтяу) на севере страны и близ Хошимина на юге Вьетнама. Следует отметить, что из перечисленных стран привлечено значительно меньше дикорастущих видов и родичей культурных растений, чем из Индии, Индонезии и Шри-Ланки. Общее количество мобилизованных видов – около 100, образцов – 10992.

Всего в результате экспедиций из стран Южноазиатского тропического центра происхождения культурных растений было мобилизовано 18 594 образца с преобладанием крупяных культур (4521 образец). Довоенная выписка составила 3520 образцов, где 1022 образца – это в основном сборы тропических древесных, декоративных и лекарственных растений в ботанических садах. Выписка с 1946 г. по настоящее время составила 16 687 образцов, половина из которых приходится на крупяные культуры: рис, кукурузу и сорго. Всего из региона поступил 39 161 образец.

Ключевые слова: экспедиция, растительные ресурсы, коллекция, образцы.

The article is devoted to the replenishment of the VIR collection with plant genetic resources from the territories of the Philippines, Burma, Laos and Vietnam as a result of plant explorations, seed requests and germplasm exchange. In total, four collecting missions were sent to this region in the late 1970s and 1980s. Through their efforts, 2668 germplasm samples were collected and delivered to the Institute. The most numerous were the accessions of grain legumes (916), followed by vegetables (835) and groat crops (653). In addition to direct collection, the Institute was constantly engaged in requesting plant germplasm.

In the prewar period, from 1925 to 1941, 396 accessions of cereal, groat, grain legume, vegetable, industrial and fruit crops were received from Burma, Vietnam, French Indochina (Laos since 1949) and the Philippines.

From 1946 to 2019, 7928 accessions were added, with the largest number shipped from Vietnam (7840). Such a huge number can be explained by the activities of the Soviet breeding stations in Lai Châu Province, Northern Vietnam, and near Ho Chi Minh City, Southern Vietnam, in the 1980s and early 1990s. It should be noted that significantly fewer wild species and crop wild relatives were mobilized from these countries than from India, Indonesia and Ceylon – about 100 spp., or 10,992 accessions.

Altogether, collecting teams brought from the South Asian tropical center of crop origin 18,594 germplasm samples, most of which were groat crops (4521). The prewar seed requests yielded 3520 accessions, with 1022 representing tropical woody, ornamental and medicinal plants from botanical gardens. Requests for germplasm from 1946 to the present time resulted in adding 16,687 accessions to the collection, half of which were groat crops (rice, maize and sorghum). A total of 39,161 accessions were received from the region.

Key words: collecting mission, plant genetic resources, collection, germplasm.

¹ Продолжение статьи «Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Индии».

Н. И. Вавилов придавал большое значение Юго-Восточной Азии как региону, перспективному для экспедиционного обследования и значимому для дальнейшего развития теории центров происхождения культурных растений. В 1933 г. он писал: «Все мои помыслы направлены сейчас в Индию, Юго-Восточную Азию; подытоживаю мировую философию, распределение растений, мы пришли логически именно к этой части, все остальное более или менее ясно <...> В общем, надо наконец братья всерьез за Индию, Индо-Китай и Китай...» (Vavilov, 1987, p. 206).

В 1935 г., подводя итоги экспедиционных обследований 1923–1933 гг., Н. И. Вавилов опять возвращался к этому вопросу: «Работа в этом направлении еще не кончилась, мы еще весьма недостаточно знаем Юго-Восточную Азию, необходим еще ряд экспедиций в Китай, Индокитай и Индию для уточнения очагов первичного формирования культурных растений и овладения новыми материалами» (Vavilov, 1960, p. 29).

В этот же год он писал: «Наши интересы к Индии растут с каждым годом» (Vavilov, 1994, p. 268).

В 1937 г. Н. И. Вавилов намеревался предпринять экспедицию в Юго-Восточную Азию, начав маршрут с Филиппин, но осуществить это не удалось.

Экспедиции в данный регион смогли состояться только в 70-х и 80-х годах XX века.

Филиппины

Единственная экспедиция по сбору растительных ресурсов на Филиппинах состоялась в 1977 г. в составе старших научных сотрудников ВИР А. Г. Ляховкина (руководитель) и В. Н. Солдатов, а также Ю. Н. Иванченко (ВНИИ фитопатологии). Экспедиция обследовала острова Лусон², Панай, Себу и Минданао Филиппинского архипелага (рис. 1). Участники экспедиции познакомились с сельским хозяйством страны, основными возделываемыми культурами, а также ведением научно-исследовательской работы в области растениеводства. В отчете отмечено, что научно-исследовательские работы ведутся на Филиппинах с 1901 г.; тогда было создано Бюро сельского хозяйства, преобразованное в 1930 г. в Бюро растениеводства и Бюро животноводства. В ведении Бюро растениеводства находились 52 опытные станции, карантинные станции и семеноводческая ферма «Саура». Отдел научных исследований Бюро состоял из секций: зерновых культур и корнеплодов; овощных и бобовых культур; плодовых культур; табака; прядильных культур; кокоса; декоративных и лекарственных растений. В 1972 г. с целью координации и планирования финансирования был создан Филиппинский совет сельскохозяйственных исследований, переименованный в 1975 г. в Филиппинский совет сельскохозяйственных и ресурсных исследований (PCARR). Совет координировал работу исследовательских центров и опытных станций, университетов и сельскохозяйственных колледжей, имел связи с частным исследовательским сектором, Международным институтом риса (IRRI), Международным центром по пшенице и кукурузе (CIMMYT), Международным центром тропического земледелия (CIAT), Международным институтом полусухолюбивых культур (ICRISAT) и другими учреждениями.

² Географические названия и названия учреждений (на русском или иностранном языке) приводятся в авторской редакции экспедиционных отчетов.

За время пребывания на Филиппинах делегация посетила Исследовательский и тренировочный центр по рису на острове Лусон, университет штата Лусон, опытные станции в Багио и Банаве, опытную станцию по рису на острове Панай, опытные станции на островах Себу и Минданао, а также Международный институт риса. Более подробно члены экспедиции познакомились с научно-исследовательской работой по рису в области иммунитета и борьбы с вредными организмами.

В отчете отмечено, что, как и во всех странах Юго-Восточной Азии, основной продовольственной культурой на Филиппинах в то время являлся рис. В горных районах были широко распространены посевы кукурузы, постепенно увеличивались посевы сорго. Остальные зерновые и крупяные культуры на Филиппинах не выращивались, началась только интродукция и испытания пшеницы, тритикале и гречихи.

Рис занимал половину всех посевных площадей продовольственных культур страны. По рису на то время были разработаны семь программ, основными из которых были «Масагана 99» и программа ирригации. «Масагана 99» предусматривала выращивание высокоурожайных сортов с достаточным использованием удобрений и пестицидов, массовое информирование и обучение фермеров с использованием всех возможных средств. Программа развития ирригации являлась основной, так как температурные условия региона позволяют выращивать рис в течение всего года на всех типах почв, несмотря на засоленность. Однако по этой же причине очень важной оказалась проблема солеустойчивости риса. Кроме того, многим почвам региона присущи цинковая, фосфорная, марганцовая или алюминиевая недостаточность, а также железистая токсичность. Мелкие фермеры в то время использовали низкопродуктивные местные сорта, устойчивые к этим проблемам, в то время как крупные землевладельцы выращивали новые высокопродуктивные селекционные сорта IRRI, так как могли позволить себе приобретение и внесение необходимых доз удобрений, а также обработку посевов пестицидами. Как отметили члены делегации, на Филиппинах в то время еще преобладала пересадочная культура риса, но уже начинал внедряться непосредственный посев в сухую почву. Повреждение насекомыми было еще одной важной проблемой выращивания риса. На Филиппинах в то время насчитывали около 100 видов насекомых – вредителей риса, из которых 15 считались наиболее вредоносными. В качестве мер защиты от вредителей использовали как выращивание устойчивых сортов, так и обработки посевов инсектицидами. В отчете приведена характеристика устойчивости 22 сортов риса к главным болезням и вредителям и меры борьбы с ними на Филиппинах. Кроме того, в нем приведен список 59 сортов риса, устойчивых к бласту (перикюляриозу), и указаны образцы, рекомендованные в качестве доноров устойчивости к нему. Члены делегации особо подчеркнули, что на Филиппинах огромный вред посевам риса наносили крысы, причем убытки исчислялись миллионами песо (для сравнения: 1 тонна риса стоила тогда 1000 песо). Во всех провинциях было известно более 30 видов крыс, и на посевах их численность достигала 10 тыс. особей на гектар. Борьба с крысами заключалась в использовании отравленных приманок на протяжении всего периода вегетации.

Помимо риса, на Филиппинах выращивалась кукуруза, которая была хорошим дополнением к рисовой крупе, а иногда и ее заменителем. Кроме того, она использовалась

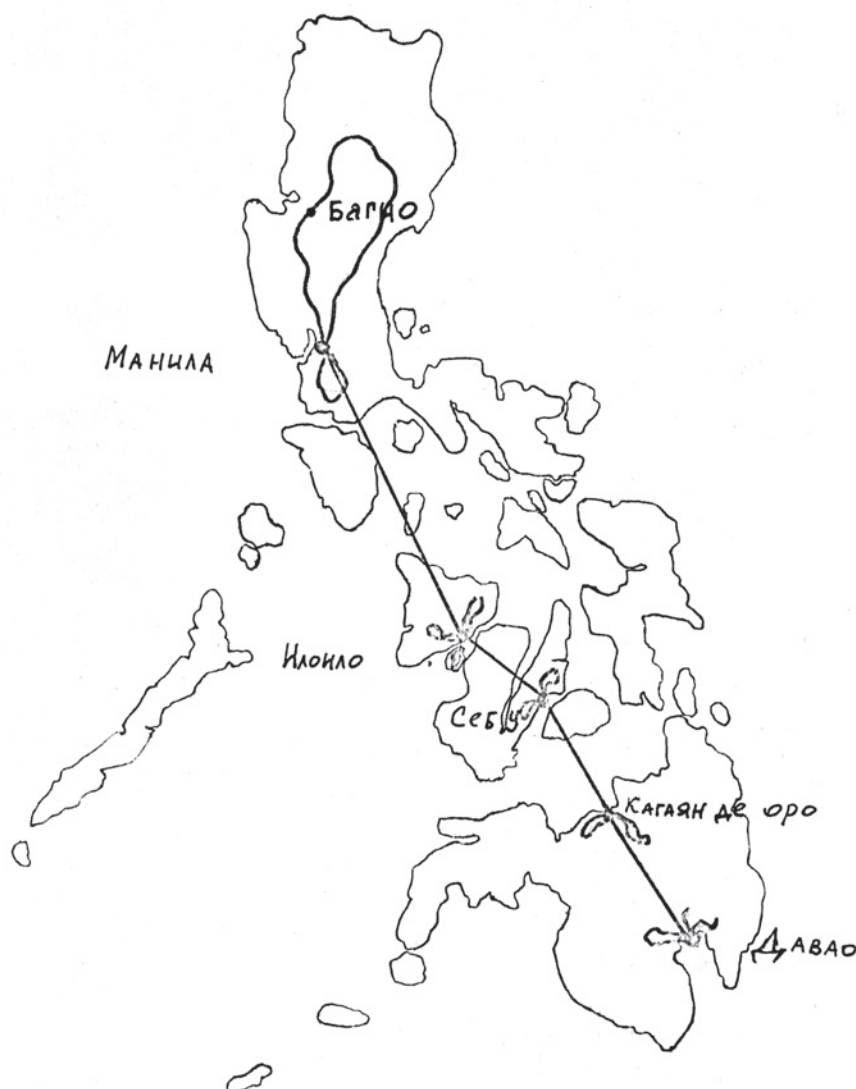


Рис. 1. Маршрут экспедиции А. Г. Ляховкина по Филиппинам в 1977 г.
(по А. Г. Ляховкину и др., 1979)

Fig. 1. The route of A. G. Lyakhovkin's collecting mission to the Philippines in 1977
(from A. G. Lyakhovkin et al., 1979)

лась на корм скоту и служила сырьем для перерабатывающей промышленности. Урожайность кукурузы в то время была очень низкая, что объяснялось использованием местных сортов.

Новой для Филиппин культурой являлось сорго. Наиболее экономически выгодным приемом при его выращивании была отавная культура. Но для этих целей можно было использовать только посе́вы, свободные от сорняков, болезней и вредителей.

Как и во всех странах Юго-Восточной Азии, бобовые культуры являлись основным источником белка. На Филиппинах бобовые культуры чаще всего выращивали на валиках рисовых чеков в смеси с кукурузой. Основной бобовой культурой являлась соя. При этом, однако, ежегодно страна импортировала в те времена по несколько тысяч тонн сои из-за недостаточности собственного производства. В качестве одного из важнейших приемов возделывания сои использовалась предпосевная обработка семян бактериальными препаратами. В силу своей скороспелости соя считалась хорошей промежуточной культурой. В экспедиционном отчете приведены характери-

стики рекомендуемых для выращивания сортов: 'CES-434'³, 'Clark 63', 'BPI-L-14', 'TK-5' и других.

Из возделываемых овощных культур основными являлись в то время бобовые овощные, кочанная и пекинская капуста, лук, томаты. Выращивали стручковую фасоль (сорта 'Лос Баньос' и 'Экономик Гаден'), вигну ('Улучшенный зеленый' и 'Тесан Пеа'), бобы ('Грин кроп', 'Ред Кидней', 'Дворф Хотикла', 'Кондендер', 'Кентукки вандер', 'Блек Валентин'), горох ('Альдерман', 'Аляска', 'Маноя Шугер', 'Шугер Мелтинг', 'Маммот', 'Китайский'). В отчете приведены краткие характеристики вышеперечисленных сортов. Уборка зеленых стручков проводилась через 7–10 дней после цветения. Стручковую фасоль и вигну возделывали на низменностях, бобы – в горах и лагунах, горох – в горах и повсеместно. Всего в институт было доставлено 1157 образцов различных сельскохозяйственных культур: крупяные – 232 образца, зернобобовые – 660, кормовые – 11, овощные – 198, технические – 56.

³ Названия сортов приводятся в авторской редакции из экспедиционных отчетов.

Бирма (Мьянма)

Первая и единственная экспедиционная поездка по территории Бирмы состоялась в 1980 г. в составе кандидата сельскохозяйственных наук К. А. Кобылянской (руководителя) и В. Ф. Чапурина. Маршрут экспедиции охватывал районы страны, производящие рис и хлопчатник, а также зоны, специализировавшиеся на выращивании кунжута, арахиса и бобовых культур. Были обследованы основные сельскохозяйственные районы Нижней и Средней Бирмы (округа Иравади, Магуэ, Мандалай, Пегу, Сикайн) (рис. 2). Делегация посетила 18 научных и производственных подразделений сельскохозяйственной корпорации Министерства сельского и лесного хозяйства Бирмы и Управление прикладных сельскохозяйственных исследований, расположенное в Рангуне. На то время Управление состояло из сети экспериментальных ферм, или сельскохозяйственных опытных станций, расположенных в различных зонах страны, и занималось поиском наиболее приемлемой системы землепользования, севооборотов, агротехники, борьбы с болезнями и вредителями. Члены делегации отметили, что сельское хозяйство Бирмы в основном базировалось на староместном сорimente, но уже наметилась тенденция его замены более продуктивными зарубежными сортами, в том числе индонезийского и индийского соримента, а также происходившими из Таиланда, Бангладеш и Японии. С успехом возделывался российский подсолнечник, проходил изучение материал пшеницы и кукурузы из Мексики. Активное содействие в этом оказывал Международный институт риса на Филиппинах (IRRI). Поэтому экспедиция была весьма своевременной, и сотрудники успели застать богатое разнообразие староместных сортов и одичавших форм культурных растений.

В экспедиционном отчете отмечено, что основные рисопроизводящие районы располагались в Нижней Бирме с плодородными аллювиальными почвами, хлопчатник выращивался в наиболее засушливой зоне страны, арахис и кунжут возделывались в северной зоне. В то же время также и в Нижней Бирме значительные площади были заняты этими культурами. Бобовые культуры были распространены повсеместно, но наибольшее разнообразие их отмечалось в Мандалае, Магве, Сикайне. В Меню располагался центр по разведению тутового шелкопряда и выращиванию плодовых растений. Район Швебо был знаменит посевами виргинского табака и также являлся зоной показательного возделывания риса.

Члены делегации отметили, что в стране на то время выращивалось более 60 различных культур. Рис являлся основной сельскохозяйственной культурой и занимал более половины всех посевных площадей. Возделывался он повсеместно в различных условиях. Орошаемые площади были сосредоточены в основном в Мандалае, Сикайне, Магве и в сухой зоне страны. В остальных районах были распространены богарные посевы, питавшиеся дождевыми водами. Благодаря климатическим особенностям страны и высокой адаптационной способности рис мог выращиваться круглый год при условии достаточного количества воды. Этому способствовала также и большая амплитуда изменчивости сортов риса по периоду вегетации: имелись раннеспелые, среднеспелые и позднеспелые сорта, а также подзимний рис. Однако урожайность риса была невысокой. Внедрение сортов иностранной селекции, в частности из Филиппин, не приносило особого результата, так как эти сорта не переносили вы-

сокого стояния вод, характерного для основных рисосеющих регионов, являлись скороспелыми, а созревание их наступало до окончания периода муссонных дождей, что усложняло уборку. Зато местный соримент представлял исключительный интерес благодаря широкой адаптационной способности, прекрасным вкусовым и питательным свойствам, а также высоким товарным качествам. При работе с рисом основное внимание уделялось улучшению сортового состава глубоководного риса и сортов, пригодных для горного, орошаемого равнинного и муссонного земледелия. Особое значение отводилось холодостойким и солеустойчивым сортам. Проводились работы по выяснению наиболее приемлемых сроков сева для получения трех-четырех урожаев с одного участка.

Кукуруза выращивалась повсеместно и пользовалась в Бирме большим спросом. В селекционной программе основной упор делался на выведение сортов – «синтетиков», проводились агротехнические опыты с удобрениями и густотой стояния растений.

Мягкая пшеница возделывалась в горных районах Шанской области, наибольшей популярностью пользовались местные белозерные сорта 'MonywaGyobyn', 'MonywaWhite'. На равнинных участках в округах Сарайн и Швебо преобладала твердая пшеница. Низкая урожайность пшеницы определялась низкой агротехникой и сильным развитием грибных заболеваний. Тем не менее посевные площади под пшеницей неуклонно расширялись, и в целях увеличения урожайности проводилось изучение зарубежных сортов, в основном, из Индии и Мексики.

В группе зерновых бобовых культур (каянус, вигна, нут, фасоль лима) проводились исследования по инокуляции клубеньковыми бактериями и установлению оптимальной густоты стояния растений. Велась селекционная работа с нут и фасолью лима.

По масличным культурам (арахису, кунжуту, подсолнечнику), наряду с изучением зарубежных сортов, проводились опыты по выявлению густоты стояния растений, влияния орошения и испытанию различных удобрений. Арахис являлся основной масличной культурой Бирмы, дававшей до 60% всего производящегося в стране масла. Возделываемые сорта относились к кустовым и стелющимся формам преимущественно испанского, индийского и китайского происхождения. Исследования по использованию клубеньковых бактерий под арахис показали увеличение урожая по сравнению с контролем на 40%.

Кунжут *Sesamum indicum* L.⁴ мог расти на любых почвах и требовал меньших затрат труда на возделывание чем арахис, поэтому он занимал большие площади. Кунжутное масло пользовалось большой популярностью среди местного населения. Возделываемые сорта относились к двум группам – ранней и поздней (или зимней). Изучение кунжута, как и арахиса, проводилось в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства и на экспериментальной ферме Магве, где было сосредоточено все разнообразие местных форм кунжута. Местные сорта Бирмы являлись непревзойденными.

Волокнистые культуры (хлопчатник, джут) изучались на способность к адаптации. Исследовалась возможность узкорядного посева для слабоветвистых форм хлопчатника, отработывался метод создания высококачественных, урожайных сортов джута и хлопчатника, проводилось изучение зарубежных сортов,

⁴ Латинские названия растений приводятся в авторской редакции из экспедиционных отчетов.

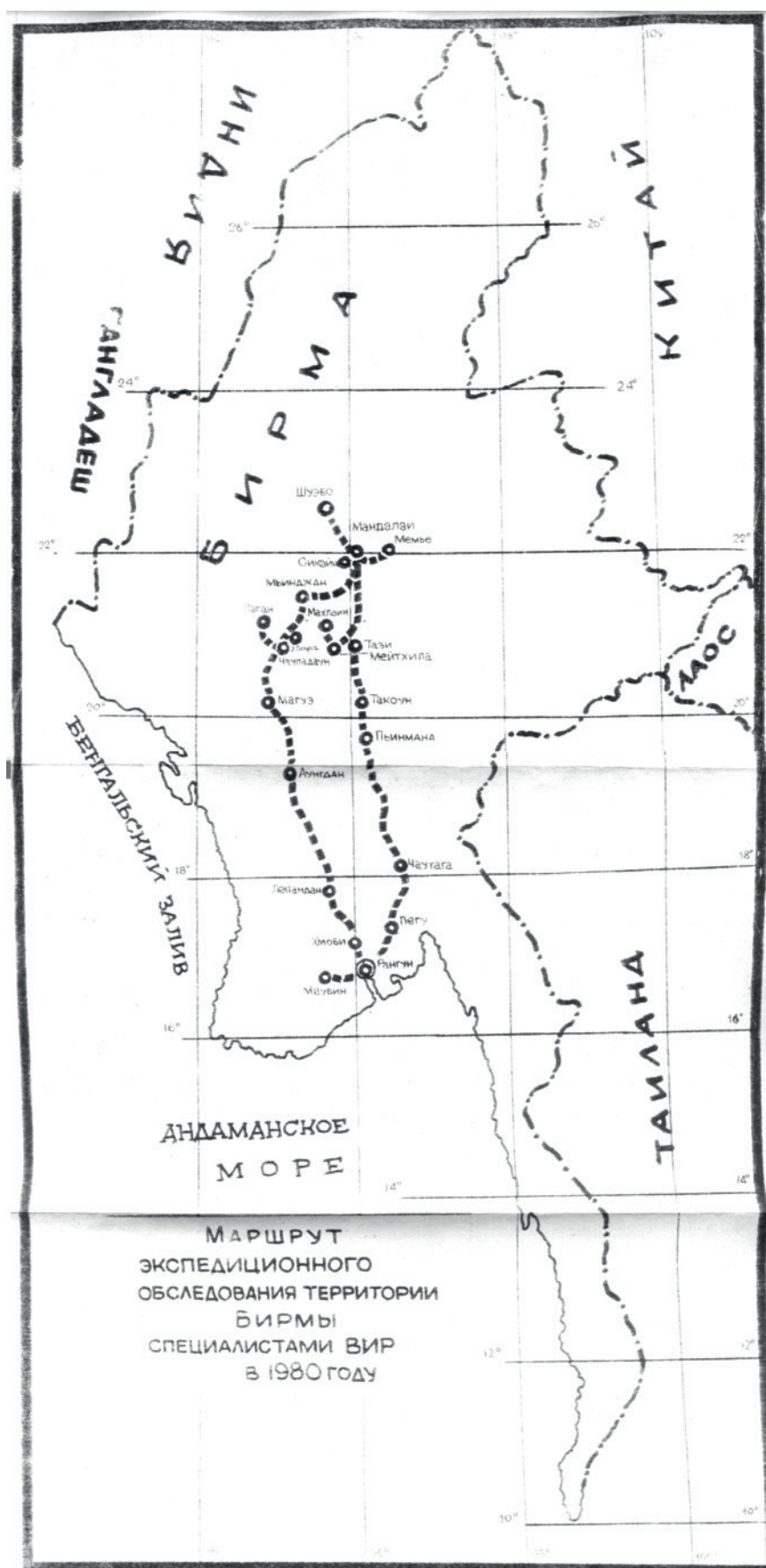


Рис. 2. Маршрут экспедиции К. А. Кобылянской по Бирме в 1980 г.
(по К. А. Кобылянской и В. Ф. Чапурину, 1980)

Fig. 2. The route of K. A. Kobylanskaya's collecting mission to Burma in 1980
(from K. A. Kobylanskaya and V. F. Chapurin, 1980)

в основном из Индии и США. В скрещивания вовлекался местный сортимент. Для решения этих проблем в Бирме был создан специальный научный центр по хлопководству.

Культивируемые сорта джута относились к виду *Corchorus capsularis* L., отличались прямым высоким стеблем и возделывались исключительно на волокно, которое использовалось для технических целей. Климатические условия Бирмы позволяли получать высококачественное волокно, пользовавшееся большим спросом на мировом рынке. Научно-исследовательская работа была направлена на решение агротехнических вопросов и выяснение методов борьбы с болезнями и вредителями.

К числу технических растений, произраставших в Бирме, относились также рами, кенаф, агава и бамбук. В районах Верхней Бирмы на то время сохранялись дикорастущие формы кенафа, а в горах Панской области – рами. Дикорастущий бамбук встречался в Бирме повсеместно.

Как отметили члены делегации, довольно распространенной культурой в Бирме являлся батат. Клубни батата служили продуктом питания, источником крахмала и глюкозы, молодые листья использовались как салат, стебли шли на корм скоту. В культуре встречались формы с белыми и красными клубнями. В зоне Хенассерим встречались насаждения маниока (кассава), являвшейся второй по важности крахмалоносной культурой в Бирме после батата.

Овощные культуры имели широкое распространение на полях фермеров, но несмотря на это, научно-исследовательская работа с ними в то время только начиналась. Наибольшее распространение имел красный острый перец, особенно высокопластичный местный сорт 'Кауправлау'. Он давал устойчивые урожаи во всех районах и на любых почвах. Лук, чеснок, томаты и огурцы местных сортов также возделывались повсеместно. Особенно распространены были сорта лука 'Чаусхей' (Золотая монета) и 'Михла' (Золотая Чаша).

Особым разнообразием в Бирме отличались баклажаны. Их встречалось до 50 различных форм с вариациями по форме, размеру и окраске плодов.

Из пряных растений наиболее востребованы были имбирь, кардамон и коричное дерево. Возделываемый имбирь относился к видам *Zingiber officinale* Roscoe и *Curcuma longa* L. Оба вида обладали прекрасными ароматическими свойствами. В качестве специй также использовались мускатный орех, кориандр, горчица, лимонная трава и другие культуры.

Фруктовые культуры занимали в Бирме сравнительно небольшие площади, но набор их был очень разнообразен: гранат – *Punica granatum* L., банан – *Musa × sapientum* L., манго – *Mangifera indica* L., дуриан – *Durio zibethinus* L., гуава – *Psidium guava* Griseb., папайя – *Carica papaya* L., ананас – *Ananas comosus* (L.) Mer., мангустан – *Garcinia mangostana* L. [*Garcinia × mangostana* L.], розовое яблоко – *Eugenia jambos* L., хурма – *Diospyros kaki* L. Цитрусовые были не так популярны, хотя в лесах отмечалось много диких форм.

В экспедиционном отчете были особо отмечены так называемые плантационные культуры: чай, кофе, табак, пальма и другие.

Чай (*Thea sinensis* L.) произрастал в горных районах Северной Бирмы. Условия для его выращивания здесь очень благоприятны, но агротехника являлась довольно примитивной. Культивируемые формы были близки к ассамским сортам и занимали промежуточное положение

между индийскими и китайскими типами. Отличительной чертой Шанского чая являлась устойчивость к заболеваниям. Валовый сбор чайного листа к тому времени значительно возрос, главным образом за счет улучшения формирования куста. Правильная обрезка вызвала усиленный рост боковых побегов и листообразование. Собранный лист шел на приготовление зеленого, черного, консервированного и кирпичного чая.

Кофе в Бирме возделывался в Шанской, Качинской и Каренской автономных областях. Здесь культивировался вид *Coffea arabica* L., дававший продукт наивысшего качества, но требовавший больших затрат на затенение. В зоне Тенассерам встречался вид *C. robusta* L. Linden. На кофейных плантациях в Меймьо возделывался вид *C. liberica* Hiern., отличавшийся выносливостью к неблагоприятным условиям возделывания. Возделывавшиеся в Бирме формы кофе отличались устойчивостью к заболеваниям и вредителям.

Табак (*Nicotiana tabacum* L.) имел в Бирме промышленное значение. В культуре был распространен виргинский табак для лучших сортов сигарет, местные формы использовались для производства бирманских сигарет-черут.

Члены делегации подчеркнули, что существенную роль в народном хозяйстве играли различные виды пальм – пальмировая пальма (тодди), кокосовая пальма, бесстебельная пальма нипа. Кокосовый орех играл важную роль в питании местного населения, из копры получали ценнейшее пищевое масло, жмых использовали на корм скоту, из кокосового волокна изготавливали шпагат, морские канаты, веревки. Древесина использовалась в строительстве. Однако возделывание кокосовой пальмы значительно отставало от потребностей населения.

Особый интерес у российских специалистов вызвали исследования лабораторий энтомологии и патологии растений по устойчивости к болезням и вредителям риса, джута, арахиса, кунжута и оценка применяемых инсектицидов и фунгицидов.

Обследование территории Бирмы позволило установить богатство культурной и дикорастущей флоры этого региона, но бирманская сторона не предоставила образцов и не дала сделать сборы. Поэтому семена покупали на рынках и в магазинах. Всего был доставлен 201 образец 63 культур. Среди них наиболее широко были представлены овощные культуры (110 образцов).

Лаос

Единственная экспедиция в Лаос состоялась в 1983 г. в составе кандидата сельскохозяйственных наук К. А. Кобылянской (руководителя), кандидатов биологических наук Б. П. Асякина (ВИЗР) и Е. Д. Коваленко (ВНИИФ). Делегация обследовала четыре административных провинций Лаоса: Вьентьян, Луангпхабанг, Саваннакхет, Тямпатсак, которые отражали практически все климатические зоны страны (рис. 3). Кроме того, она ознакомилась со структурой Министерства сельского хозяйства, ирригации и кооперативов ЛНДР и Департамента растениеводства и посетила 26 сельскохозяйственных учреждений, в том числе селекционные и семеноводческие центры, государственные и кооперативные хозяйства. В результате обследования было установлено, что растительные ресурсы Лаоса отличались богатством староместных и дикорастущих форм культурных растений, представлявших интерес для решения вопросов филогении, системати-

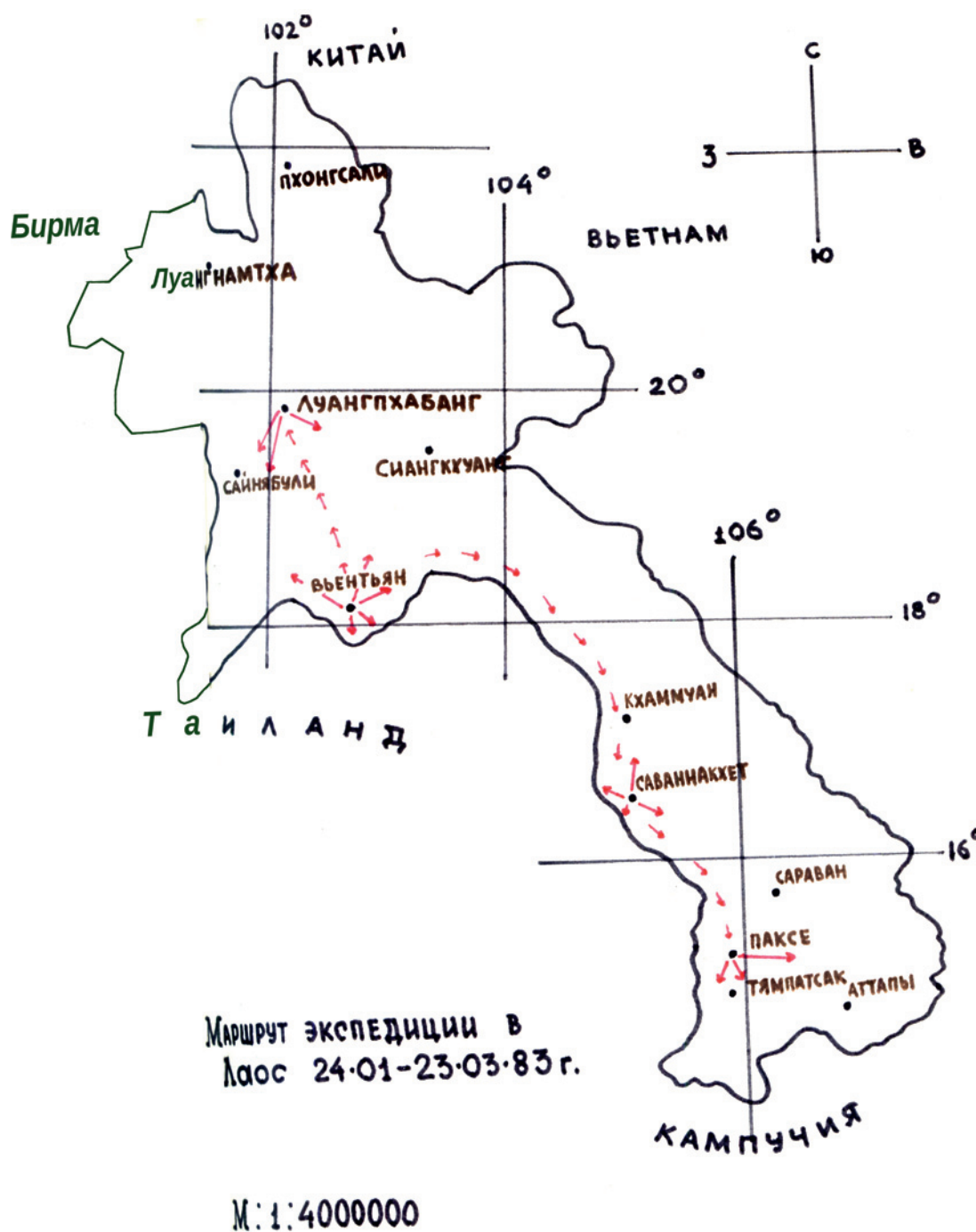


Рис. 3. Маршрут экспедиции К. А. Кобылянской по Лаосу в 1983 г.
(по К. А. Кобылянской и др., 1983)

Fig. 3. The route of K. A. Kobylyanskaya's collecting mission to Laos in 1983
(from K. A. Kobylyanskaya et al., 1983)

ки и селекции. Участники экспедиции подробно ознакомились и описали основные сельскохозяйственные растения страны.

В отчете отмечено, что рис уже в течение многих веков является главной продовольственной культурой Лаоса. Тем не менее урожайность риса в стране была очень низкой, почти на 30% ниже, чем в Бирме и Таиланде. «Зеленая революция», охватившая многие азиатские страны, на то время очень слабо коснулась традиционного лаосского сельского хозяйства. Однако благодаря расширению международных экономических связей в Лаосе

с конца 1960-х годов начали высевать высокоурожайные сорта селекции, главным образом, Международного института риса, такие как 'IR-8', 'IR-22', 'IR-42', 'IR-848-100' и другие, что позволило поднять урожай. В то же время выяснилось, что большинство сортов не могло достаточно хорошо адаптироваться к местным условиям, и лаосцы предпочитали местные клейкие сорта, отличавшиеся коротким вегетационным периодом и большей пластичностью. Всего в Лаосе возделывалось 22 сорта клейкого риса и 5 сортов твердого, или «белого королевского» риса. Участникам экспедиции представилась возможность

наряду с селекционными сортами привлечь в коллекцию более сотни стародавних сортов народной селекции, в том числе 'KhaoDo', 'KhaoSiju', 'KhaoSipVanh', 'KhaoYo', 'KhiTomNgay'. Они отличались высокой пластичностью и неприхотливостью к условиям произрастания, а также устойчивостью к наиболее вредоносным болезням.

Второй по значению культурой Лаоса являлась кукуруза. Выращивалась она повсеместно, но основные ее посевы были сосредоточены в северных провинциях. Особое значение кукуруза приобретала в годы стихийных бедствий, наносивших ущерб урожаю риса. Посевы ее быстро давали всходы и до окончания сезона дождей успевали сформировать не только зеленую массу, но и зерно. Урожайность кукурузы к восьмидесятым годам XX века достигла 10 ц/га. В долинных районах выращивали селекционные сорта Лаоса и Таиланда, в горных – староместные сорта с фиолетовым зерном стекловидной консистенции. Они отличались скороспелостью и неприхотливостью выращивания. В коллекцию были представлены староместные сорта кремнистой и крахмалистой кукурузы, а также примитивные формы.

Из зернобобовых культур повсеместно были распространены зеленый маш и, в незначительных количествах, соя, вигна, фасоль. В процессе обследования членами экспедиции были собраны горох морщинистый, местные популяции вьющейся фасоли, возделываемые формы маша с зеленым и бурым зерном, а также черносеманная вигна из различных районов страны.

Технические культуры, как отметили члены делегации, не имели широкого распространения. Но собранные экспедицией дикорастущие образцы клещевины, представленные травянистыми, кустарниковидными и древовидными формами, а также древовидный хлопчатник и староместные сорта этой культуры с белым и желтым волокном представляли большой интерес.

Овощные культуры и корнеклубнеплоды выращивались повсеместно, но занимали незначительное место в сельскохозяйственном производстве Лаоса. Наибольшее распространение имели картофель, батат и ямс, а из овощных культур – перец, лук, чеснок, баклажаны, помидоры, огурцы, капуста, салаты.

Перец. В культуре преобладали в основном острые местные перцы с мелкими темно-красными плодами конусовидной формы. На рынках в большом количестве поступали перцы, изобилующие во флоре Лаоса. Они были представлены кустарниковыми формами с мелкими и очень мелкими плодами красной и темно-красной окраски.

Баклажаны. В посевах были распространены в основном местные формы с плодами небольших размеров, белой, желтой и фиолетовой окраски. Форма их варьировала от округлой до продолговатой. Местные сорта часто переопылялись с дикорастущими формами, свободно произраставшими на культивируемых участках. Плоды их чаще всего были округлыми, желтыми, оранжевыми и белыми.

Огурцы *Cucumis sativus* L. возделывались в основном на шпалерах. Местные сорта различались по размеру, величине и форме плодов. Среди огурцов заслуживал внимания местный сорт 'Teng Khi Kay', толщина листовой пластинки которого в два раза превышала таковую у наших отечественных сортов, что являлось признаком устойчивости к сосущим вредителям (тлям, клещам). Был интересен своей уникальностью также сорт 'Teng Kua', плоды которого по размеру и форме напоминали кабачок и имели средний вес 2–3 кг.

Исключительную ценность для селекции, наряду со староместными популяциями, представляло собранное делегацией разнообразие дикорастущих форм томата, баклажана и перцев, отличавшихся устойчивостью к болезням и имевших съедобные плоды.

Богатым разнообразием в Лаосе были представлены тыквенные растения: арбуз, тыква, бенинказа, лагенария, люффа, момордика, трихозант. Экспедицией выявлено и собрано большое разнообразие индийской тыквы *Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn., плоды которой могут использоваться в цукатном и консервном производстве. Интересны были быстрорастущие образцы лагенарии *Lagenaria vulgaris* Ser. с высокими декоративными и пищевыми достоинствами. Были привлечены разнообразные формы люффы *Luffa acutangula* (L.) Roxb. и *Luffa cylindrica* (L.) M. Roem., местные и дикорастущие образцы момордики (*Momordica charantia* L., *Momordica balsamina* L., *Momordica dioica* Roxb. ex Willd.) и трихозанты *Trichosanthe sanguine* L.

Плодовые культуры были представлены в Лаосе большим разнообразием. Из citrusовых преобладал лайм *Citrusa aurantifolia* (Christm.) Swingle., из тропических – манго *Mangifera indica* L., дынное дерево – папайя *Carica papaya* L., банан *Musa* L., ананас *Ananas comosus* (L.) Merr. и кокосовая пальма *Cocos nucifera* L. Экспедицией были собраны разнообразные формы кислого лайма, местного манго, дикорастущего банана.

Кофе являлся традиционной экспортной культурой. Возделывались виды *Coffea robusta* L. Linden и *C. arabica* L. На плато Боловен собраны образцы трех видов кофе – *C. arabica* L., *C. liberica* Hiern и *C. robusta* Linden.

Всего в институт было доставлено 850 образцов различных сельскохозяйственных культур: рис – 136, кукуруза – 36, соя – 19, зернобобовые – 107, арахис – 14, бахчевые – 105, овощные – 318, пряные – 18, картофель – 13, технические – 38, кофе – 11, citrusовые – 7, прочие – 28 и кроме того более 400 видов вредных и около 100 видов полезных насекомых, в том числе неизвестных науке; выявлены вредители, представлявшие фитосанитарную угрозу для СССР (щитовки, ложнощитовки, мучнистые червецы, амбарные вредители и др.); собраны гербарные образцы риса, пораженные гелиминтоспориозом, пирикуляртиозом и бактериозом, которые должны были позволить выявить видовой состав возбудителей.

Вьетнам

Что касается экспедиции во Вьетнам, то экспедиционного отчета по ней нет, но имеется база данных образцов, которые собрали и передали в институт члены делегации. В базе данных указано место сбора или покупки образцов, поэтому возможно описать маршрут и охарактеризовать привезенные образцы. Экспедиция во Вьетнам была проведена в 1986 г. кандидатами сельскохозяйственных наук В. А. Зайцевым (руководитель), С. Г. Варединовым и А. Ф. Пимаховым. Участники экспедиции обследовали в Южном Вьетнаме дельты рек Меконг, Донгнай, Сонг и провинции Виньлонг, Хаузянг, Донгнай, а также посетили город Хошимин (рис. 4).

В результате экспедиции в коллекцию поступили 520 образцов, в том числе 244 образца крупных культур с преобладанием риса (171 образец) и кукурузы (33 образца). Был собран дикий предок культурного риса *Oryza rufipogon* Griff., используемый для выведения сортов риса, устойчивых к стеблевой гнили и к палочковидному вирусу риса тунгро. Зернобобовых куль-

тур было доставлено 104 образца, представленных ма-
шем, бобами, фасолью, вигной и соей. На рынке в Дон-
гнае были частично приобретены 122 образца 23 овош-
ных культур. Наибольшее число образцов поступило по

бахчевым культурам, баклажанам, горчице. Из техни-
ческих культур было получено: кунжута – 12 образцов,
арахиса – 20 образцов. Зерновых, плодовых, кормовых
культур и картофеля собрано не было.



Рис. 4. Точки сбора образцов экспедициями В. А. Зайцева (1986 г.) на территории Вьетнама

Fig. 4. Germplasm collection sites of V. A. Zaytsev's collecting missions (1986) to Vietnam

Выписка образцов

Институт, помимо непосредственного сбора, постоянно занимался выпиской образцов. В довоенный период с 1925 по 1941 г. поступило 396 образцов зерновых, крупяных, зернобобовых, овощных, технических и плодовых культур из Бирмы, Вьетнама, Французского Индокитая (с 1949 г. – Лаос) и Филиппин. Из Бирмы наибольшее количество образцов относилось к крупным культурам, в основном это были образцы риса (45 образцов) и сорго (8 образцов), из технических культур преобладал кунжут (8 образцов) и арахис (7 образцов). Из Французского Индокитая поступило только 4 образца семян чая. Наибольшие поступления были из Вьетнама – 162 образца в основном древесных и декоративных культур из ботанических садов (125 образцов). Из остальных образцов преобладали зернобобовые – фасоль и каянус (*Cajanus indicus* Spreng.) и технические культуры – джут и арахис. С Филиппин поступил 131 образец, в том числе 36 образцов риса, полученных из Манилы от Р. Ф. Бартона и из Бюро растениеводства. Также от Р. Ф. Бартона поступили 29 образцов тропических деревьев.

После Второй мировой войны из Лаоса поступило 13 образцов (из которых 9 образцов риса были присланы через Посольство СССР в ЛНДР), 2 образца клещевины и 2 образца кофе. Несколько больше было получено образцов из Бирмы (Мьянмы). Всего отсюда поступило 75 образцов, из которых 55 были крупяные (в том числе 34 – рис) и 12 – зернобобовые культуры. Поступления были от советников посольства СССР по сельскому хозяйству Г. Г. Баграмова (40 образцов) и Е. Суринова (17 образцов). Три образца риса были переданы из Госкомитета Совета министров СССР по внешнеэкономическим связям. Последнее поступление было в 1977 г. С Филиппин было получено 267 образцов риса и 9 вигны.

Из Вьетнама за период с 1946 по 2001 г. (последнее поступление) было получено рекордное количество образцов – 7840. За период с 1946 по 1982 г. отсюда поступило 652 образца, 436 из которых относилось к крупным культурам. Первое поступление после Второй мировой войны было с вьетнамской выставки в Ленинграде (1956 г.) Это были 9 образцов риса и 2 образца кунжута. В пятидесятые годы с Армавирского маслозавода передали из производственных партий семена арахиса и клещевины вьетнамского происхождения, из Института масличных и эфиромасличных культур поступил вьетнамский кунжут и из Ленпищекомбината – вьетнамская куркума.

В шестидесятые годы преобладали подарки вьетнамских ученых. В дар были переданы 134 образца риса, сои, кунжута и овощные культуры; 17 образцов из госхоза Мон-Чау переданы через сотрудников Ботанического института им. В.Л. Комарова. Также были поступления через Министерство сельского хозяйства Грузии, Одесскую госинспекцию по карантину, Ленинградский сельскохозяйственный институт.

В семидесятые годы растительный материал поступал из экспедиций: сборы Г. И. Тараканова⁵ (128 образцов, в основном овощные культуры) и А. В. Атланова⁶ (40 образцов крупяных, овощных, зернобобовых и технических культур).

⁵ Г. И. Тараканов – выдающийся ученый-овощевод, профессор кафедры овощеводства Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева.

⁶ А. В. Атланов – специалист по хлопчатнику Среднеазиатского филиала ВИР.

С 1983 по 1990 г. поступило 5592 образца. Такое значительное количество образцов можно объяснить деятельностью в 1980-е и начале 1990-х гг. советского селекционного пункта (г. Лай Чу, провинция Лайтяу) во Вьетнаме. Первый его заведующий, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук А. Г. Ляховкин, регулярно проводил экспедиционные обследования территории Вьетнама и высылал образцы в институт. Особенно тщательно им были обследованы провинции Лайтяу, Каобанг, Виньфук, Хоабинь, Тханьхоа на севере страны и провинции Даклак, Кханьхоа, Донгнай, а также район города Хошимин на юге. Кроме того, А. Г. Ляховкин посетил Министерство сельского хозяйства Вьетнама, а также ряд научных учреждений: НИИ сельского хозяйства, Центр биологических исследований, НИИ технических культур, Центр по кукурузе, Центр по хлопководству, Центр по рису, Рисовую опытную станцию, Картофельную опытную станцию, Институт продовольственных культур и некоторые другие, где также смог получить образцы растительного материала. В частности, по рису им были получены образцы селекции IRRI.

В целом как экспедиционные сборы обозначены 1028 образцов (в том числе сборы экспедицией 1986 г.), еще 4564 не помечены как полученные из официальных экспедиций. В большинстве своем эти образцы поступили как посылка из Центральной карантинной лаборатории, но указано, что они доставлены сотрудниками института А. Г. Ляховкиным, Н. П. Агафоновым и С. А. Кузнецовым, посещавшим советский селекционный пункт во Вьетнаме. Из официально помеченных экспедиционных сборов наибольшее количество образцов приходится на крупяные (600), овощные (181), зернобобовые (122) и технические (102) культуры. Остальные поступления включают в себя 218 образцов пшеницы (из отдела агроботаники НИИСХ СПб), 2200 образцов крупяных культур, зернобобовых – 990, технических – 640 и овощных – 474.

С 1990 по 2001 г. поступило 1596 образцов: зерновые – 308, крупяные – 318, зернобобовые – 443, овощные – 290, технические культуры – 223 образца. Это были поступления от сотрудников института А. Г. Ляховкина, С. В. Булынцева и Р. Рехметуллина, работавших на советском селекционном пункте, в том числе материал, собранный экспедицией А. Г. Ляховкина и С. А. Кузнецова (500 образцов), а также незначительное поступление из экспедиций, проведенных ВСЦИС (Вьетнамско-Советский центр интродукции, селекции и семеноводства, г. Ханой). С 2001 г. поступлений из Вьетнама не было. Таким образом, основная часть мобилизованных образцов из рассматриваемых стран приходится на поступления из Вьетнама, особенно после организации советского селекционного пункта: 8522 образца. При этом многие образцы – это уже современные селекционные сорта и линии из Индии, Филиппин, Мексики и других стран.

Следует отметить, что из рассматриваемых в настоящей статье стран привлечено значительно меньше дикорастущих видов и родичей культурных растений, чем из Индии, Индонезии и Шри-Ланки. Общее количество мобилизованных в результате экспедиций и выписки видов – около 100, образцов – 10 992.

Заключение для серии из 4 статей

Экспедиционные отчеты – источник бесценной информации о растительных ресурсах обследуемых стран и образцах, привлекаемых в коллекцию института. К со-

жалению, не все группы культур подробно описывались участниками экспедиций. Как правило, основное внимание уделялось культурам или группам культур, специалисты по которым были в составе экспедиций. Самыми эффективными по части описания и сбора образцов были, конечно, специализированные экспедиции, как например по зерновым культурам, по плодовым культурам и по рису. В комплексных экспедициях, в которые входили специалисты различных отделов растительных ресурсов института или опытной сети ВИР, упор делался на культуры, кураторы по которым входили в состав делегации. Например, значительная часть отчета экспедиции по Пакистану посвящена зернобобовым культурам благодаря участию Н. И. Корсакова, а значительная часть отчета непальской экспедиции – цитрусовым, так как в число ее участников входил Д. Х. Самоладас.

За весь период существования института по территории Южноазиатского тропического центра происхождение культурных растений были проведены 22 экспедиции, которые осуществлялись с 1926 по 1991 г. Сотрудники института посетили научные учреждения, ботанические сады, фермы и перерабатывающие предприятия Индии, Пакистана, Бангладеш, Филиппин, Бутана, Непала, Бирмы, Лаоса, Вьетнама, Индонезии и Шри-Ланки. Были обследованы территории многих провинций этих стран, собран ценный местный и селекционный материал, дикie виды и родичи культурных растений.

До Второй мировой войны была проведена только одна (но самая длительная) экспедиция В. В. Марковича по территории Индии (включая современные Пакистан

и Бангладеш), островов Ява и Цейлон. После войны были осуществлены повторные обследования этих территорий, а также Филиппин, Бутана, Непала, Бирмы (Мьянмы), Лаоса и Вьетнама (рис. 5).

По экспедиционным отчетам можно проследить направление и развитие научных исследований, установить уровень агротехники и культуру земледелия каждой из стран. Так, в Индии, в Индонезии и на Филиппинах научно-исследовательские работы активно проводились уже с начала XX века; в Бангладеш, Лаосе и Бирме получили значительное развитие с 1960–1970-х годов; в Бутане и Непале – в 1980-х годах. В 1970-е годы в регионе наметилась общая тенденция замены местных сортов более продуктивными зарубежными сортами. Активную роль в этом сыграла деятельность Международного института риса (IRRI) на Филиппинах и Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы (CIMMYT). Тем не менее Индия и Пакистан уже в 1970-е годы достигли больших успехов в увеличении производства пшеницы, риса, кукурузы, сорго («индийская зеленая революция»).

В. В. Маркович (руководитель экспедиции 1926–1928 гг.) и все участники послевоенных экспедиций отмечали наличие богатого разнообразия староместных сортов и дикорастущих форм культурных растений и указывали на необходимость сбора и сохранения стародавнего генофонда культурных растений и их диких родичей. В 1970-е годы в Бангладеш еще возделывалось около 500, а в Непале – около 800 местных сортов риса. Это, конечно, не удивительно, если учитывать, что рис является основной культурой стран Южноазиатского



Рис. 5. Точки сбора образцов в странах Южноазиатского тропического центра происхождения культурных растений экспедициями ВИР

Fig. 5. Germplasm collection sites of VIR's collecting missions to the countries of the South Asian tropical center of crop origin

тропического центра происхождения культурных растений. Исключение составлял только Пакистан. В этой стране в 1965 г. была разработана государственная программа производства и селекции пшеницы. В начале 1970-х годов главными культурами в Пакистане были рис и пшеница, однако в конце того же десятилетия пшеница вышла на первое место и посевные площади под ней превышали посевы риса, сорго, кукурузы и ячменя вместе взятых. В Бангладеш пшеница также являлась важной зерновой культурой, а в Бирме, Бутане и Непале в этот период возделывался, кроме местных сортов, только индийский сорт 'Sonalika', а интродукция и изучение пшеницы и кукурузы мексиканского происхождения только начинались.

Кукуруза также имела важное значение во всех странах региона. В Непале, Бутане и Лаосе она была второй культурой после риса, однако в 1970–1980-е годы там еще преобладали местные сорта. Иначе дело обстояло в то время в Индии и Пакистане. В Индии в 1957 г. стартовала программа селекции кукурузы. В Пакистане в 1975 г. был организован НИИ кукурузы и просовидных культур и также была разработана программа по селекции кукурузы.

Большую роль в регионе играли зернобобовые культуры, выращивавшиеся на зерно, как овощи, а также как зеленое удобрение (сидераты). Количество возделываемых видов зернобобовых в XX веке колебалось от 8 (в Индии в 1926–1928 гг.) до 20 различных видов (в Пакистане в 1978 г.). Во время своей экспедиции по региону (1926–1928 гг.) В. В. Маркович подробно ознакомился с применением зеленого удобрения и собрал семена бобовых сидератов. Особое внимание он уделил разведению на острове Ява индиго (индигоферы красильной), которое является зеленым удобрением и дает прекрасную синюю краску. В послевоенных обследованиях участниками экспедиций также отмечалось использование зернобобовых в качестве зеленого удобрения, особенно в междурядьях плодовых культур, но непосредственных сборов проведено не было.

Что касается овощных культур, то их значение и ассортимент с годами постоянно увеличивались. В. В. Маркович отмечал, что в южной части Британской Индии во второй половине 20-х годов XX века возделывалось незначительное количество овощных культур, в то время как на территории современного Пакистана наблюдалось большее их разнообразие, особенно заметное на примере бахчевых культур. Так, на острове Ява в конце 1920-х годов овощные культуры можно было встретить только в больших городах, однако Д. В. Тер-Аванесян уже в 1960 г. писал, что они играют большую роль в питании населения (Ter-Avanesyan, 1960). В 1970–80-е годы число возделываемых овощных культур значительно увеличилось: например, в Непале оно достигло 104 видов, относящихся к 19 семействам, хотя не все из них имели широкое распространение. Во всех странах основные овощные культуры были одни и те же: перец, томат, капуста белокочанная и цветная, баклажаны, бахчевые культуры.

Начиная с В. В. Марковича, все участники экспедиций отмечали в регионе большое разнообразие плодовых культур: семечковых, косточковых, ягодных, цитрусовых, субтропических культур и винограда, орехоплодных, декоративных и тропических культур (манго, папайя, банан, ананас, кокосовая пальма, дуриан, гуава, мангустан и др.). К сожалению, состоялась только одна специализировавшаяся на плодовых культурах экспеди-

ция в Индию, и в целом плодовых культур было доставлено немного.

При обследовании региона большое внимание уделялось также и техническим культурам. В 1926 г. при планировании экспедиции в Индию упор делался именно на технические культуры: хинное дерево и каучуконосы. В. В. Марковичем были собраны и доставлены в Союз пять видов хинного дерева и каучуконосы, а также арахис культурный, джут длинноплодный, джут круглоплодный, горчица черная, горчица белая, клещевина обыкновенная, конопля посевная, конопля индийская, розелла, каркаде, мексиканский чай, цитронелла. Из Цейлона были доставлены пряные растения – корица, мускатный орех, гвоздичный перец, звездчатый анис, куркума, ваниль, перец черный, кардамон.

В отчетах послевоенных экспедиций нет такого подробного описания технических культур, как у В. В. Марковича. Тем не менее из них можно заключить, что на тот момент второй культурой после риса для Бангладеш являлся джут. По производству джутового волокна Бангладеш занимал тогда первое место в мире. В Бирме культивируемые сорта джута возделывались исключительно на волокно, пользовавшееся большим спросом на мировом рынке. Другой важной культурой региона являлся арахис. В Бирме он был основной масличной культурой, дававшей до 60% всего производившегося в стране масла. Кунжут также имел большое значение, местные бирманские сорта кунжута считались лучшими в мире. В Бутане наибольшее распространение среди масличных культур имели горчица, подсолнечник и арахис. В Непале возделывали в тераях и в горах сурепицу, горчицу, рапс, нуг, кунжут, лен, а из технических культур – хлопчатник, джут и кенаф. Более подробно был описан индийский и пакистанский хлопчатник. Пакистан являлся одной из основных хлопкосеющих стран мира, полностью обеспечивая себя хлопком и экспортируя его. Индия была тогда единственной страной, где возделывались все 4 культурных вида хлопчатника.

Всего в результате экспедиций из стран Южноазиатского тропического центра происхождения культурных растений было мобилизовано 18 594 образца с преобладанием крупяных культур (4521 образец). Довоенная выписка составила 3520 образцов, из которых 1022 образца представляли собой в основном сборы в ботанических садах тропических древесных, декоративных и лекарственных растений. Выписка с 1946 г. по настоящее время составила 16 687 образцов, половина из которых приходится на крупяные культуры: рис, кукурузу и сорго. Всего из региона поступил 39 161 образец.

Материал подготовлен в рамках мероприятия «Обеспечение сохранения коллекции генетических ресурсов растений» подпрограммы «Научно-техническое обеспечение развития отраслей агропромышленного комплекса» Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы.

The material was prepared for the event entitled "Ensuring conservation of the plant genetic resources collection" within the framework of the Subprogram "Scientific and technical support for the development of the agroindustrial complex sectors" of the State Program of Agricultural Development and Regulation of Agricultural Produce, Raw Material and Food Markets for 2013–2020.

References / Литература

- Kobylyanskaya K.A., Asyakin B.P., Kovalenko E.D. Full report on the results of the business trip to Laos (Lao People's Democratic Republic) (Polnyy otchet o rezultatakh komandirovaniya v Laos [Laoskaya Narodno-Demokratische Respublika]). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Laos 1983 (931); 1983. [in Russian]. (Кобылянская К.А., Асякин Б.П., Коваленко Е.Д. Полный отчет о результатах командирования в Лаос [Лаосская Народно-Демократическая Республика]. ВНИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Лаос 1983 (931); 1983).
- Kobylyanskaya K.A., Chapurin V.F. Report on the collection mission to Burma (Otchet ob ekspeditsii v Birmu). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Burma (Myanmar) 1980 (885); 1980. [in Russian] (Кобылянская К.А., Чапурин В.Ф. Отчет об экспедиции в Бирму. ВНИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Бирма (Мьянма) 1980 (885); 1980).
- Lyakhovkin A.G., Soldatov V.N., Ivanchenko Yu.N. Report on the work of the plant resources collecting mission to the Philippines (Otchet o rabote ekspeditsii po sboru rastitelnykh resursov na Filipinakh). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Philippines 1979 (743); 1979. [in Russian] (Ляховкин А.Г., Солдатов В.Н., Иванченко Ю.Н. Отчет о работе экспедиции по сбору растительных ресурсов на Филиппинах. ВНИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Филиппины 1979 (743); 1979).
- Ter-Avanesyan D.V. Report on a collecting mission to Indonesia (August 3 – September 10, 1960) (Otchet ob ekspeditsii v Indoneziyu [3 avgusta – 10 sentyabrya 1960 g.]). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Ind 1960 (355); 1960. [in Russian] (Тер-Аванесян Д.В. Отчет об экспедиции в Индонезию (3 августа – 10 сентября 1960 г.). ВНИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Ind 1960 (355); 1960).
- Vavilov N.I. Scientific legacy. Vol. 10. From the epistolary heritage. 1929–1940 (Nauchnoye nasledstvo. T. 10. Iz epistol'yarnogo naslediya. 1929–1940 gg.). Moscow: Nauka; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Научное наследство. Т. 10. Из эпистолярного наследия. 1929–1940 гг. Москва: Наука; 1987).
- Vavilov N.I. Scientific legacy in letters: International correspondence. Vol. 1. Petrograd period. 1921–1927 (Nauchnoye nasledstvie v pismakh: Mezhdunarodnaya perepiska. T. 1. Petrogradskiy period. 1921–1927 gg.). Moscow: Nauka; 1994. [in Russian]. (Вавилов Н.И. Научное наследие в письмах: Международная переписка. Т. 1. Петроградский период. 1921–1927 гг. Москва: Наука; 1994).
- Vavilov N. I. Selected works. Vol. 2. Breeding problems. The role of Eurasia and the New World in the origin of cultivated plants (Izbrannye trudy. T. 2. Problemy selektsii. Rol Evrazii i Novogo Sveta v proiskhozhdenii kulturnykh rasteniy). Moscow; Leningrad: USSR Acad. of Sci.; 1960. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные труды. Т. 2. Проблемы селекции. Роль Евразии и Нового Света в происхождении культурных растений. Москва; Ленинград: Изд. АН СССР; 1960).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

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;182(1):186-198. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-186-198

Loskutova N.P., Ozerskaya T.M. Mobilization of plant genetic resources from South and Southeast Asia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):186-198. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-186-198

ORCID

Loskutova N.P. ORCID 0000-0002-2869-1259

Ozerskaya T.M. ORCID 0000-0002-5831-506X

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-186-198>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

Научное издание:

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, ТОМ 182, ВЫПУСК 1**

Научный редактор: *Е. А. Соколова*

Корректор: *А. Г. Крылов*

Компьютерная верстка: *А. В. Иванов*

Подписано в печать 25.03.2021. Формат бумаги 70×100 ¹/₈

Бумага офсетная. Печать офсетная

Печ. л. 24,9. Тираж 300 экз. Зак. 2503/21

Сектор редакционно-издательской деятельности ВИР
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 42, 44

ООО «Р – КОПИ»

Санкт-Петербург, пер. Гривцова, 6Б

