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

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 181

выпуск 2

(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

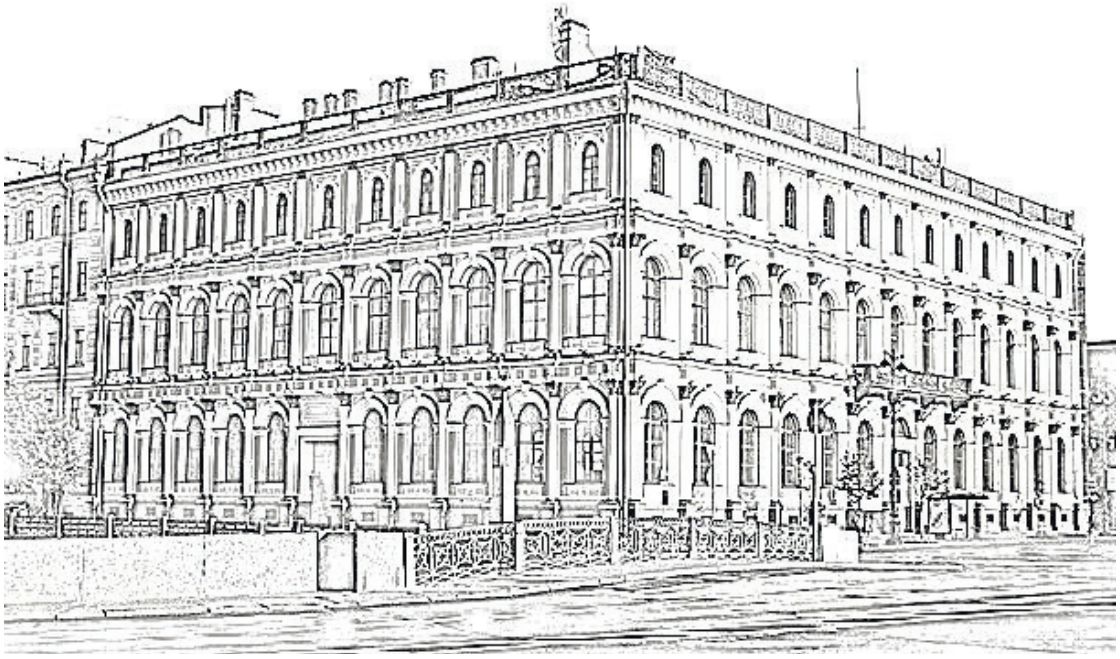
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING, vol. 181

issue 2

(founded by Robert Regel in 1908)

ST. PETERSBURG
2020



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 181
issue 2



Editorial board:
I. N. Anisimova, O. S. Afanasenko, G. A. Batalova, A. Berville, L. A. Bespalova, N. B. Brutch, A. Börner, I. G. Chukhina, A. Diederichsen, V. I. Dorofeev, M. V. Duka, G. V. Eremin, G. I. Filipenko, N. Friesen, T. A. Gavrilenko, N. P. Goncharov, V. M. Gorina, K. Hammer, E. H. B. Hatefov, V. Holubec, E. K. Khlestkina (Chief Editor), A. V. Kilchevsky, V. N. Korzun, M. M. Levitin, I. G. Loskutov, T. V. Matveeva, S. S. Medvedev, N. V. Mironenko, I. V. Mitrofanova, O. P. Mitrofanova, A. I. Morgunov, H. A. Muminjanov, M. A. Pintea, E. E. Radchenko, I. D. Rashal, A. V. Rodionov, L. J. Schipilina, M. M. Silantyeva, O. V. Soloduhina, I. A. Tikhonovich, E. K. Turuspekov, M. A. Vishnyakova, N. M. Zoteeva

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

ST. PETERSBURG

2020

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

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ

том 181
выпуск 2

Редакционная коллегия:
И. Н. Анисимова, О. С. Афанасенко, Г. А. Баталова, А. Бервилле, А. Бернер, Л. А. Беспалова, Н. Б. Брач, М. А. Вишнякова (зам. главного редактора), Т. А. Гавриленко, В. Голубец, Н. П. Гончаров, В. М. Горина, А. Дидериксен, В. И. Дорофеев, М. В. Дука, Г. В. Еремин, Н. М. Зотеева, А. В. Кильчевский, В. Н. Корзун, М. М. Левитин, И. Г. Лоскутов (зам. главного редактора), Т. В. Матвеева, С. С. Медведев, Н. В. Мироненко, И. В. Митрофанова, О. П. Митрофанова (зам. главного редактора), А. И. Моргунов, Х. А. Муминджанов, М. А. Пынтя, Е. Е. Радченко, И. Д. Рашаль, А. В. Родионов, М. М. Силантьева, О. В. Солодухина, И. А. Тихонович, Е. К. Туруспеков, Г. И. Филипенко, Н. В. Фризен, Е. К. Хлесткина (главный редактор), К. Хаммер, Э. Б. Хатефов, И. Г. Чухина, Л. Ю. Шипилина (ответственный секретарь)

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2020

УДК 58:575:631.522/.524:633/635:632(066)

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ. Т. 181, вып. 2. СПб., 2020. 167 с.

Дана оценка степени мобилизации генофонда полевицы (*Agrostis* L.) в коллекции ВИР. Описаны история интродукции и качество семян двух видов *Aristolochia* в Санкт-Петербурге. Проведено ранжирование коллекции кукурузы (*Zea mays* L.) ВИР по селекционно ценным признакам в условиях Республики Беларусь. Исследовано изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов в условиях лесостепи Западной Сибири. Определено влияние условий выращивания и года репродукции на морфофизиологические показатели семян и проростков вигны (*Vigna radiata*). Химический состав плодов черемухи изучен в условиях Северо-Западного региона РФ. Проанализирован генофонд льна-долгунца и картофеля ВИР как источников исходного материала для селекции. Обсуждается селекционная ценность инбредного потомства сорта красной смородины 'Подарок победителям'. Дана характеристика компонентов продуктивности новых сортов и селекционных форм груши на Среднем Урале; лучших мутантных линий ячменя, созданных с участием сорта 'Биос 1', и новых исходных форм для селекции дыни. Рассмотрено использование молекулярно-генетического и фитопатологического методов для идентификации генов эффективной устойчивости к листовой ржавчине у образцов эгилопсов и применение последовательностей внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS) для идентификации образцов *Anoectochilus setaceus* Blume в Тханьхоа (Вьетнам). Дана характеристика таксономической структуры сегетальной флоры восьми регионов России и морфологическая характеристика биоминералов из используемых видов морских водорослей. Выявлена микобиота зерна селекционных линий овса ФИЦ «Немчиновка» конкурсного сортоиспытания (Московская область, 2019 г.). Рассмотрены история создания и деятельности Федерального научного центра овощеводства (ФНЦО) и творческая деятельность Е. Н. Седова – ведущего селекционера семечковых плодовых культур.

Табл. 42, рис. 64, библиогр. 408 назв.

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

PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING. Vol. 181, iss. 2. SPb., 2020. 167 p.

The degree of mobilization has been evaluated for the genetic diversity of bentgrass (*Agrostis* L.) in the VIR collection. The history of introduction and seed quality of two *Aristolochia* species in St. Petersburg are described. The collection of maize (*Zea mays* L.) held by VIR has been ranked according to the traits valuable for breeding in the environments of the Republic of Belarus. Changes in grain yield and quality with increased adaptability have been studied for oat cultivars in the forest-steppe environments of Western Siberia. The effect of growing conditions and the year of reproduction on morphological and physiological characteristics in seeds and sprouts of mung bean (*Vigna radiata*) is analyzed. Chemical composition of bird cherry fruits has been studied in the Northwestern region of Russia. The fiber flax and potato gene pools preserved at VIR are analyzed in the context of their value as source material for breeding. The inbred progeny of the red currant cultivar 'Podarok Pobeditelyam' has been tested for its value for breeding. Yield components have been assessed in new cultivars and breeding forms of pear in the Middle Urals. Best barley mutant lines developed on the basis of cv. 'Bios 1' and new source materials for melon breeding are described. The use of molecular-genetic and phytopathological methods to identify genes for effective leaf rust resistance in *Aegilops*, and application of internal transcribed spacer (ITS) sequences to identify *Anoectochilus setaceus* Blume in Thanh Hoa, Vietnam, have been researched. The taxonomic structure of the segetal flora in eight regions of Russia is described, and morphological characterization of biominerals from the utilized marine algae species is presented. The mycobiota in the grain of oat lines produced at Nemchinovka Federal Research Center (competitive trials, Moscow Province, 2019) has been explored. An insight into the history and activities of the Federal Scientific Vegetable Center (FSVC) is given, and the creative achievements of E.N. Sedov, a leading pome fruit breeder in Russia, are described.
Tabl. 42, fig. 64, ref. 408.

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

© Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт
генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова,
2020

ISSN 2227-8834
ПИ № ФС77-57455

CONTENTS

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

Malyshev L.L.
Evaluating the representativeness of the bentgrass (*Agrostis* L.) gene pool collected across the Russian Federation and neighboring countries in the VIR collection 9

Tkachenko K.G., Firsov G.A., Volchanskaya A.V.
Seed quality of *Aristolochia macrophylla* Lam. and *A. manshuriensis* Kom. in St. Petersburg 14

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Varivoda E.A., Koleboshina T.G., Kornilova M.S.
Collection accessions and source material as a determining factor for producing new melon cultivars 23

Govor Ye.M., Khatefov E.B.
Ranking the VIR collection of maize (*Zea mays* L.) according to the traits valuable for breeding in the soil and climate environments of the Republic of Belarus 28

Golyaeva O.D., Panfilova O.V., Kalinina O.V.
Plant breeding evaluation of the red currant cultivar 'Podarok Pobeditelyam' and its inbred progeny 35

Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Aniskov N.I.
Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars 42

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

Kostina L.I., Kosareva O.S., Truskinov E.V., Kirpicheva T.V.
The collection of potato varieties as a reserve of source material for breeding for high yield, earliness, and resistance to diseases and pests 50

Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V.
Worldwide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties 57

Orlova S.Yu., Yushev A.A., Shelenga T.V.
Chemical composition of bird cherry fruits in the Northwestern region of Russia 65

Sushkevich A.V., Zabegaeva O.N., Burlyaeva M. O.
The effect of growing conditions and the year of reproduction on morphological and physiological characteristics in seeds and sprouts of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek 73

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Tyryshkin L.G., Kolesova M.A.
The use of molecular-genetic and phytopathological methods to identify genes for effective leaf rust resistance in *Aegilops* accessions 87

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Zhilin N.A., Zajtseva I.Yu., Shchennikova I.N., Emelev S.A.
Effectiveness of the barley cultivar 'Bios 1' as source material for breeding 96

Tarasova G.N.
Yield components in new pear cultivars and breeding forms in the Middle Urals 101

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

Thinh B.B., Chac L.D., Thu L.T.M.
Application of internal transcribed spacer (ITS) sequences for identifying *Anoectochilus setaceus* Blume in Thanh Hoa, Vietnam 108

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

Zakharenko A.M., Nawaz M.A., Chaika V.V., Zemchenko I.V., Orlova T.Yu., Begun A.A., Romashko R.V., Galkina A.N., Karabtsov A.A., Chung G., Golokhvast K.S.
Morphological characterization of biominerals from five multicellular marine algae species....117

Tretyakova A.S., Baranova O.G., Luneva N.N., Terekhina T.A., Yamalov S.M., Lebedeva M.V., Khasanova G.R., Grudanov N.Yu.
Segetal flora of some regions of Russia: characteristics of the taxonomic structure....123

IMMUNITY OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Markova A.S., Kabashov A.D., Loskutov I.G.
Mycobiota in the grain of the oat breeding lines produced in 2019 in competitive variety trials on the fields of Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province....134

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Galasheva A.M., Yanchuk T.V., Krasova N.G.
Evgeny Nikolaevich Sedov: a leading breeder of pome fruit crops in Russia....145

Soldatenko A.V., Musayev F.B., Sokolova D.V.
The 100th anniversary of the Federal Scientific Vegetable Center, the leader of Russian scientific vegetable growing....156

СОДЕРЖАНИЕ

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Малышев Л.Л.
Оценка степени мобилизации генофонда полевицы (*Agrostis* L.) на территории Российской Федерации и сопредельных стран 9

Ткаченко К.Г., Фирсов Г.А., Волчанская А.В.
Качество семян *Aristolochia macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* Kom. в Санкт-Петербурге 14

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Варивода Е.А., Колебошина Т.Г., Корнилова М.С.
Коллекционные образцы – определяющий фактор получения новых сортов дыни 23

Говор Е.М., Хатефов Э.Б.
Ранжирование коллекции кукурузы (*Zea mays* L.) ВИР по селекционно ценным признакам в агроклиматических условиях Республики Беларусь 28

Голяева О.Д., Панфилова О.В., Калинина О.В.
Селекционная оценка сорта красной смородины ‘Подарок победителям’ и его инбредного потомства 35

Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И. В., Аниськов Н.И.
Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов 42

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Костина Л.И., Косарева О.С., Трускинов Э.В., Кирпичева Т.В.
Коллекция селекционных сортов картофеля – источник исходного материала для селекции на продуктивность, скороспелость, устойчивость к болезням и вредителям 50

Кутузова С.Н., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В.
Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов 57

Орлова С.Ю., Юшев А.А., Шеленга Т.В.
Химический состав плодов черемухи в условиях Северо-Западного региона России 65

Сушкевич А.В., Забегаева О.Н., Бурляева М.О.
Влияние условий выращивания и года репродукции на морфофизиологические показатели семян и проростков *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek 73

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Тырышкин Л.Г., Колесова М.А.
Использование молекулярно-генетического и фитопатологического методов для идентификации генов эффективной устойчивости к листовой ржавчине у образцов эгилопсов 87

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Жилин Н.А., Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Емелев С.А.
Сорт ‘Биос 1’ как исходный материал для селекции ячменя 96

Тарасова Г.Н.
Компоненты продуктивности новых сортов и селекционных форм груши на Среднем Урале 101

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

Тхинь Б.Б., Чак Л.Д., Тху Л.Т.М.
Применение последовательностей внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS) для идентификации образцов *Anoectochilus setaceus* Blume в Тханьхоа (Вьетнам) 108

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Захаренко А.М., Наваз М.А., Чайка В.В., Земченко И.В., Орлова Т.Ю., Бегун А.А., Ромашко Р.В., Галкина А Н., Карабцов А.А., Чанг Г., Голохваст К.С.
Морфологическая характеристика биоминералов из пяти видов морских водорослей 117

Третьякова А.С., Баранова О.Г., Лунева Н.Н., Терехина Т.А., Ямалов С.М., Лебедева М.В., Хасанова Г.Р., Груданов Н.Ю.
Сегетальная флора некоторых регионов России: характеристика таксономической структуры 123

ИММУНИТЕТ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Маркова А.С., Кабашов А.Д., Лоскутов И. Г.
Микобиота зерна селекционных линий овса ФИЦ «Немчиновка» конкурсного сортоиспытания на полях в Московской области в 2019 году 134

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Галашова А.М., Янчук Т.В., Красова Н.Г.
Евгений Николаевич Седов – ведущий селекционер семечковых культур в России 145

Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б., Соколова Д.В.
Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет 156

Оценка репрезентативности генофонда полевицы (*Agrostis* L.) на территории Российской Федерации и сопредельных стран в коллекции ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-9-13
УДК 633.23:575.22:581.6
Поступление/Received: 09.01.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

CC BY

Л. Л. МАЛЫШЕВ

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

Evaluating the representativeness of the bentgrass (*Agrostis* L.) gene pool collected across the Russian Federation and neighboring countries in the VIR collection

L. L. MALYSHEV

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
l.malyshev@vir.nw.ru

Виды полевицы (*Agrostis* L.) – важный компонент естественных пастбищ; они используются в создании кормовых травосмесей, для создания газонов, имеются селекционные сорта. Коллекция полевицы ВИР в настоящее время состоит из 576 образцов. *A. gigantea* Roth представлена в основном дикорастущими образцами; *A. stolonifera* L., *A. canina* L., *A. tenuis* Sibth. – сортами и селекционным материалом иностранного происхождения. Проведена оценка репрезентативности коллекции и распределения сборов на территории бывшего СССР, видового разнообразия коллекции; выявлены регионы, которые необходимо охватить экспедициями для заполнения «пробелов» географического, экологического и таксономического диапазона.

Материалами для данной работы послужили паспортная база данных коллекции полевицы ВИР и электронные карты административного деления бывшего СССР. В качестве операционных единиц рассмотрены 176 административных единиц, для каждой из которых учитывалось общее число видов рода *Agrostis* и общее число образцов на ее территории. Среди сборов 11 видов более детально был проанализирован *A. gigantea*.

Выявлено, что наиболее полно охвачены экспедиционными сборами северо-запад европейской части России, Западная Сибирь, Сахалинская область и Республика Якутия. Практически не мобилизовано таксономическое и популяционное разнообразие полевицы на территории юга Нечерноземной и Черноземной зон, Среднего и Нижнего Поволжья, Северного Кавказа, Восточной Сибири и Дальнего Востока. Таксономическое разнообразие дикорастущих образцов коллекции полевицы представлено слабо. Для его повышения наибольший интерес представляют Дальний Восток и горные районы республик Центральной Азии, Северный и Центральный Урал.

Ключевые слова: генетические ресурсы, географическое распределение, gap-анализ.

Various species of bentgrass (*Agrostis* L.) are an important component of natural pastures. They are used to prepare forage grass mixtures or set up lawns; there are released cultivars. The collection of bentgrass held by VIR currently consists of 576 accessions. *A. gigantea* Roth is represented mainly by wild accessions; *A. stolonifera* L., *A. canina* L., and *A. tenuis* Sibth. by cultivars and breeding material of foreign origin. The representativeness of the gene pool and the distribution of germplasm collecting sites over the territory of the ex-USSR have been evaluated, and the species diversity has been analyzed within the collection. The regions have been identified that need to be addressed by collecting missions to fill 'the gaps' in the geographic, environmental and taxonomic range of bentgrass species.

The passport database of VIR's bentgrass collection and electronic maps of the ex-USSR administrative subdivisions served as the material for the research. A total of 176 administrative subdivisions were accepted as operational units and studied. For each of them, the total number of *Agrostis* spp. and the total number of accessions collected in its territory were taken into account. Among the eleven species collected, *A. gigantea* was analyzed in more detail.

It appeared that the Northwest of the European part of Russia, Western Siberia, Sakhalin Province, and the Republic of Yakutia were most fully explored by collecting teams. However, the taxonomic and population diversity of bentgrass has not practically been mobilized so far in the southern parts of the Non-Black-Soil and Black-Soil zones, Middle and Lower Volga regions, North Caucasus, Eastern Siberia, and the Far East of Russia. Poorly represented in the collection is the taxonomic diversity of wild bentgrass accessions. The Russian Far East, mountainous areas of the Central Asian Republics, and the Northern and Central Urals are of the greatest interest for filling this gap.

Key words: genetic resources, geographic distribution, gap analysis.

Введение

Род *Agrostis* L. (полевица) во флоре бывшего СССР насчитывает 47 видов, распространенных от Арктики до пустынь Средней Азии и от западных границ до Тихого океана (Cherepanov, 1995). Наиболее обширный ареал – у полевицы гигантской (*Agrostis gigantea* Roth). Ареал остальных видов значительно уже. Двенадцать видов эндемичны для территории бывшего СССР, восемь приурочены исключительно к горам Средней Азии; 15 видов встречаются только на Дальнем Востоке либо являются эндемиками Дальнего Востока.

Все виды рода представляют собой важный компонент естественных пастбищ. Полевица гигантская широко используется в создании кормовых травосмесей; имеются селекционные сорта. Три вида полевицы

(*A. stolonifera* L., *A. canina* L., *A. tenuis* Sibth.) входят в состав травосмесей для создания газонов.

Коллекция ВИР в постоянном и интродукционном каталогах в настоящее время состоит из 576 образцов. *A. gigantea* представлена в основном дикорастущими образцами; *A. stolonifera*, *A. canina*, *A. tenuis* – селекционными сортами и селекционным материалом по большей части иностранного происхождения. Представляется весьма актуальной оценка уже имеющегося в коллекции таксономического и эколого-географического разнообразия дикорастущих образцов с целью использования их для разных направлений селекции как кормовой, так и газонной культуры.

Совместное изучение ареала таксона в целом и размещения коллекционных сборов в пределах ареала позволит получить информацию о генетическом потенциале и реально используемых генетических ресурсах вида. Поскольку данные по структуре генетического разнообразия для большинства видов отсутствуют, для его косвенной оценки можно использовать информацию об экологической амплитуде и географическом распространении таксона (Maxted et al., 1995; Maxted, Guarino, 2003). Основная предпосылка, лежащая в основе этого метода, – наличие корреляции между эколого-географическим разнообразием местообитаний и структурой генетического разнообразия популяций из данных местообитаний. Предполагается, что выборка популяций из отдаленных мест и разнообразных местообитаний обеспечит репрезентативную выборку генетического разнообразия таксона (Maxted et al., 1995). Следующий шаг gap-анализа – сопоставление оценки природного разнообразия с разнообразием, сохраняемым в настоящее время в коллекциях генетических ресурсов растений ВИР. Такое сопоставление позволит выделить долю генетического разнообразия, которая не охвачена существующими коллекциями, то есть «пробелы» в коллекции, и тем самым поможет их заполнить.

Целью нашей работы являлось:

– оценка репрезентативности коллекции полевицы и распределения сборов на территории Российской Федерации и стран ближнего зарубежья;

– оценка таксономического разнообразия коллекции;

– выявление регионов, которые необходимо охватить экспедициями для заполнения «пробелов» географического, экологического и таксономического диапазона коллекций.

Материал и методика

Материалами для данной работы послужили паспортная база данных коллекции полевицы отдела генетических ресурсов (ГР) многолетних кормовых культур ВИР (Dzyubenko, Malyshev, 1999), электронные карты, созданные в 2003–2009 гг. при работе по созданию «Агроэкологического атласа России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения» (Afonin et al., 2008) и карты административного деления бывшего СССР, оцифрованные автором.

В качестве операционных единиц рассматривали республики, автономные республики, области и округа бывшего СССР (всего 176 административных единиц), границы которых были приняты в 1991 г. Для каждой из административных единиц учитывалось:

– общее число видов рода *Agrostis* на территории административной единицы;

– общее число образцов на территории административной единицы.

Для статистической обработки данных использовали систему Statistica 7.0. Дифференцированные карты числа сборов составлены с помощью Mapinfo 8.5.

Результаты и обсуждение

В коллекции ВИР в настоящее время содержится 388 дикорастущих образцов, собранных на территории Российской Федерации и сопредельных стран.

Сборы относятся к девяти видам рода *Agrostis* и одному виду, перенесенному из рода *Agrostis* в род *Neoschischikinia* Tzvel. Подавляющую часть (76,5%) сборов составляют образцы *A. gigantea* (таблица). Наибольшим таксономическим разнообразием отличаются сборы на территории Республики Саха (Якутия) и Сахалинской области – пять и четыре вида соответственно.

Из 25 образцов *A. tenuis* два были собраны на территории Казахстана, четыре – Украины, остальные – из различных регионов РФ. Четыре образца *A. stolonifera* происходят из Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Сахалинской области РФ, а также Киевской области Украины. Образцы *A. canina* собраны на территории Северо-Западного региона РФ (Ленинградская и Псковская области) и Республики Чувашия.

Все образцы *A. clavata* Trin. собраны на территории Приморского края РФ; образец *A. scabra* Willd. – на территории Сахалинской области, *A. sibirica* Petr. и *A. trinii* Turcz. – из Республики Саха (Якутия), *A. vinealis* Schreb. – из Ставропольского края. Образец *Neoschischkinia nebulosa* (Boiss. et Reut.) Tzvel. (= *Agrostis nebulosa* Boiss. et Reut.) собран на территории Закарпатской области Украины. Из образцов с неустановленной таксономической принадлежностью (13%) 13 были получены из Горно-Бадахшанской АО Таджикистана.

Результаты анализа географического распределения сборов наиболее хорошо представленного в коллекции вида *A. gigantea* показаны на рисунке 1. Наибольшее число образцов было мобилизовано из республик Карелия, Коми, Саха (Якутия), Сахалинской, Томской и Тюменской областей и Алтайского края. В целом же на группу административных единиц с высокой степенью мобилизации ГР полевицы гигантской приходится 88 образцов. Вне пределов ареала вида находятся шесть административных единиц (Ненецкий, Ямало-Ненецкий, Таймырский, Чукотский и Корякский АО).

В 102 административных единицах сборы дикорастущих образцов *A. gigantea* не проводились или образцы к настоящему времени выпали из коллекции. Единичные сборы проводились в 35 регионах: в странах Балтии, Беларуси, Украины, Молдовы, Закавказье, Туркменистане и Узбекистане; в большей части Таджикистана и Киргизстана; на Северном Кавказе, в Поволжье, в большей части Центра европейской части России, на Дальнем Востоке (кроме Сахалинской области). Средняя насыщенность сборов наблюдалась в 17 регионах, высокая (7–10 образцов) – в десяти, очень высокая – в семи регионах (рис. 2).

Таблица. Таксономический состав коллекции полевицы ВИР (дикорастущие образцы с территории бывшего СССР)

Table. Taxonomic composition of the bentgrass collection at VIR (wild accessions from the territory of the former USSR)

Виды	Число образцов
Agrostis gigantea Roth	297
Agrostis tenuis Sibth.	25
Agrostis stolonifera L.	4
Agrostis canina L.	3
Agrostis clavata Trin.	2
Agrostis sibirica Petr.	1
Agrostis trinii Turcz.	1
Agrostis scabra Willd.	1
Agrostis vinealis Schreb.	1
Neoschischkinia nebulosa (Boiss. et Reut.) Tzvel.	1
Agrostis sp.	52
Всего	388

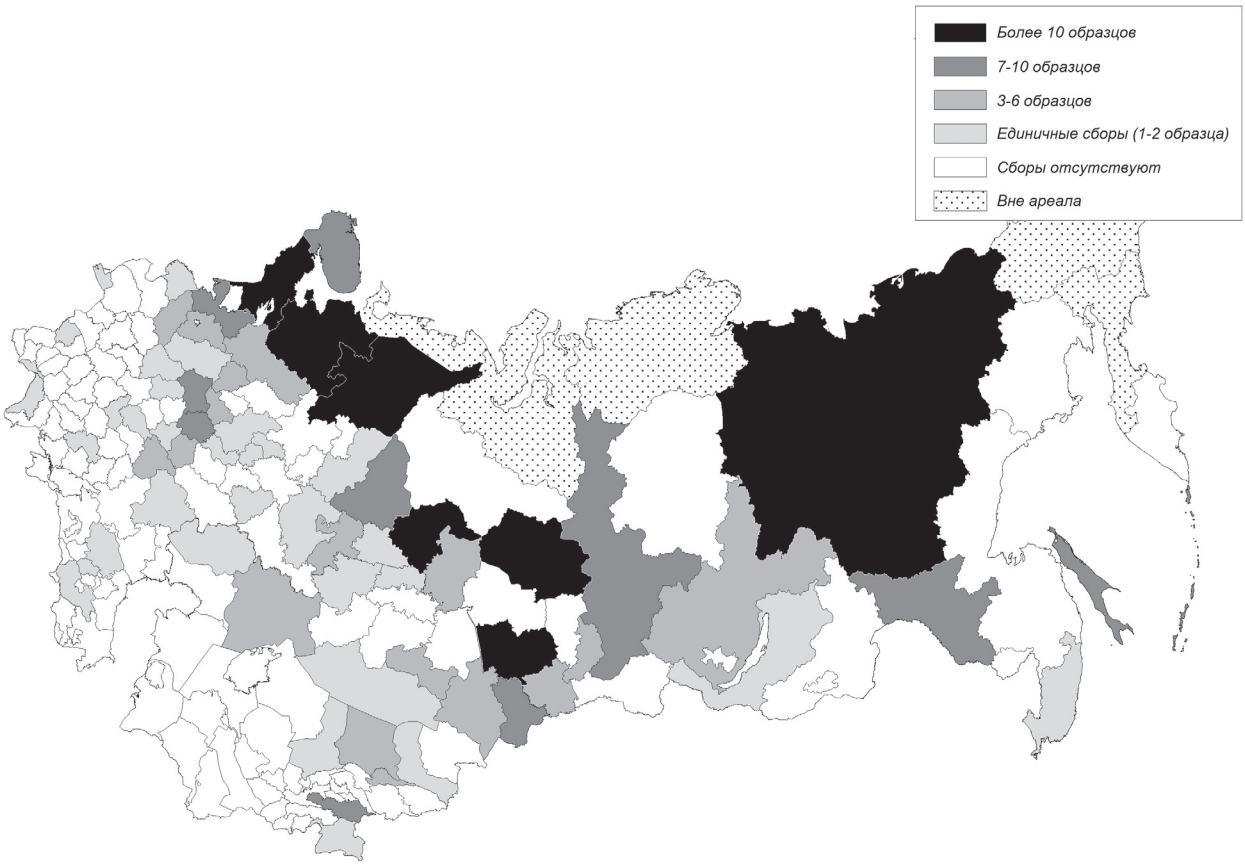


Рис. 1. Распределение образцов *Agrostis gigantea* Roth по административным единицам бывшего СССР

Fig. 1. Distribution of the accessions of *Agrostis gigantea* Roth across the ex-USSR administrative units

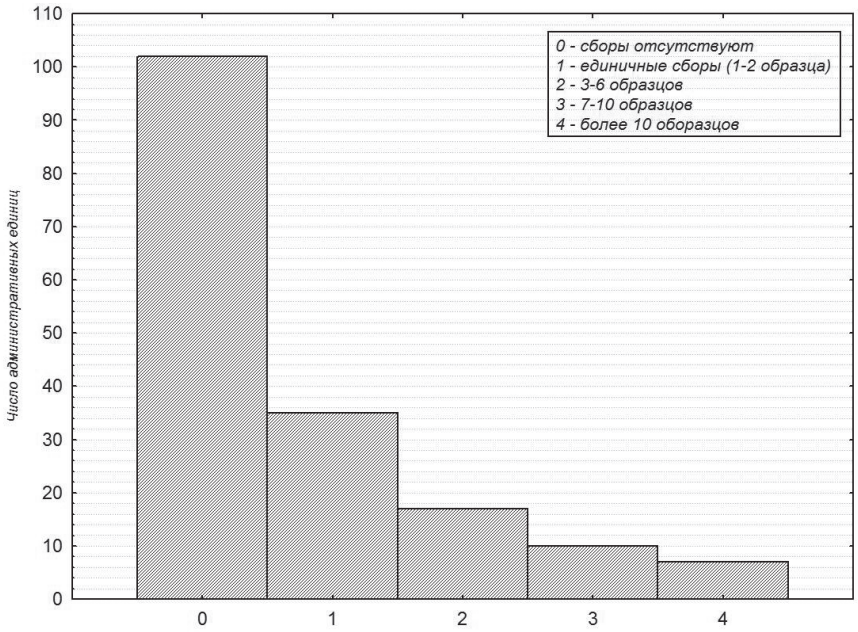


Рис. 2. Распределение административных единиц бывшего СССР по количеству собранных на их территории образцов

Fig. 2. Distribution of the ex-USSR administrative units according to the number of accessions collected in their territories

Выводы

На основании полученных нами результатов можно сделать следующие выводы.

1) Таксономическое разнообразие дикорастущих образцов полевицы слабо представлено в коллекции. Данная ситуация связана прежде всего с тем, что полевица рассматривалась исключительно с точки зрения пастбищного использования и не учитывалась ее значение как газонной культуры. Наибольший интерес с точки зрения повышения таксономического разнообразия коллекции представляют Дальний Восток и горные районы республик Центральной Азии, Северный и Центральный Урал.

2) Наиболее полно охвачены экспедиционными сборами следующие регионы: Северо-Запад европейской части РФ, Западная Сибирь, Сахалинская область и Республики Саха (Якутия).

3) Практически не мобилизовано таксономическое и популяционное разнообразие полевицы на территориях юга Нечерноземной и Черноземной зон, Среднего и Нижнего Поволжья, Северного Кавказа (за исключением Ставропольского края), Восточной Сибири и Дальнего Востока (кроме Сахалинской области).

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

Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds [Online]. 2008. [in Russian] (Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения / под ред. А.Н. Афонина, С.Л. Грин, Н.И. Дзюбенко, А.Н. Фролова. [Интернет-версия]. 2008. URL: http://www.agroatlas.ru [дата обращения: 19.12.2019].

Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the boundaries of the former USSR) (Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv [v predelakh byvshego SSSR]). St. Petersburg: Mir i Semya; 1995. [in Russian] (Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Санкт-Петербург: Мир и семья; 1995).

Dzyubenko N.I., Malyshev L.L. The taxonomic and ecological diversity of amenity grasses in Russia and other former Soviet Union states. In: *Proceedings of the 22nd EUCARPIA Fodder Crops and Amenity Grasses Section.* 2000. p.46-47.

Maxted N., Guarino L. Planning plant genetic conservation. In: R.D. Smith, J.B. Dickie, S.H. Linington, H.W. Pritchard, R.J. Probert (eds). *Seed Conservation: Turning Science into Practice*. Kew: Royal Botanic Gardens; 2003. p.37-78.

Maxted N., Van Slageren M.W., Rihan J. Ecogeographic surveys. In: L. Guarino, V. Ramanatha Rao, R. Reid (eds). *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical Guidelines*. Wallingford: CAB International; 1995. p.255-286.

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

Малышев Л.Л. Оценка репрезентативности генофонда полевицы (*Agrostis* L.) на территории Российской Федерации и сопредельных стран в коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):9-13. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-9-13

Malyshev L.L. Evaluating the representativeness of the bentgrass (*Agrostis* L.) gene pool collected across the Russian Federation and neighboring countries in the VIR collection. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):9-13. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-9-13

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/10.30901/2227-8834-2020-2-9-13

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
Malyshev L.L. https://orcid.org/0000-0002-8595-1336

Качество семян *Aristolochia macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* Kom. в Санкт-Петербурге

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-14-22
УДК 581.522.4:581.526.43:581.6 (470.023=25) (026)
Поступление/Received: 19.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

К. Г. ТКАЧЕНКО*, Г. А. ФИРСОВ, А. В. ВОЛЧАНСКАЯ

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук,
197376 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, 2
kigatka@gmail.com; gennady_firsov@mail.ru; sandalet@mail.ru

Seed quality of *Aristolochia macrophylla* Lam. and *A. manshuriensis* Kom. in St. Petersburg

K. G. TKACHENKO*, G. A. FIRSOV, A. V. VOLCHANSKAYA

*Komarov Botanical Institute of the RAS,
2 Professora Popova Street,
St. Petersburg 197376, Russia
*kigatka@gmail.com;
gennady_firsov@mail.ru;
sandalet@mail.ru*

Актуальность. Во флоре России встречается один вид древесной лианы из рода *Aristolochia* L. (кирказон) – *A. manshuriensis* Kom. (кирказон маньчжурский); он включен в Красную книгу России. Для внедрения в культуру необходимо оценить качество семян интродуцированных видов. **Методы.** Материалом для исследования служили растения *A. macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* из коллекции парка-арборетума Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Проведена оценка зимостойкости, измерены высота, диаметр ствола, диаметр кроны. Размеры и возраст приведены по состоянию растений на осень 2017 г. Оценка обмерзания проведена по шкале П. И. Лапина, фенологические наблюдения и периодизация года – по методике Н. Е. Булыгина. Оценку качества семян проводили с учетом методических рекомендаций. Рентгеноскопический анализ плодов и семян проводили согласно разработанным методам применения микрофокусной рентгенографии для семян и плодов. **Результаты.** *A. manshuriensis* выращивают в Ботаническом саду Петра Великого БИН РАН (г. Санкт-Петербург) с 1909 г. Первое цветение было отмечено в 1918 и 1919 г., а плодоношение – в 1924 г. В настоящее время в коллекции представлены растения третьего-четвертого поколения. *A. macrophylla* в Санкт-Петербурге известен с 1816 г. За 200-летний период интродукции отмечали только цветение. Впервые плодоношение у этого вида отмечено в 2007 г., с 2014 г. выращивают растения второго поколения. Анализ семян, собранных в 2016 и 2017 г., показал, что они у изученных видов *Aristolochia* жизнеспособны и отличаются высоким качеством. Эти виды зимостойки, характеризуются быстрым ростом и могут несколько различаться по срокам прохождения основных фенологических фаз своего сезонного ритма развития. **Заключение**. Для закладки плантаций лучше использовать семена. *A. macrophylla* и *A. manshuriensis* перспективны для широкой культуры и использования в вертикальном озеленении.

Ключевые слова: интродукция растений, рентгеноскопия семян, вертикальное озеленение, Ботанический сад Петра Великого.

Background. The study and mobilization of natural flora species in botanical gardens allow the curators to save biological resources of useful plant species, and recommend them for urban landscaping. In the flora of Russia, one species of a woody vine from the genus *Aristolochia* L. is *A. manshuriensis* Kom.; it is included in the Red Data Book of Russia. **Methods** The material for the study was *A. macrophylla* Lam. and *A. manshuriensis* from the collection of the Peter the Great Botanical Garden maintained by the Komarov Botanical Institute of the RAS. Winter hardiness was assessed; plant height, stem diameter, and crown diameter were measured. The sizes and age are given according to the state of the plants in the fall of 2017. Seed quality was assessed with due regard to the approved guidelines. X-ray analysis of fruits and seeds was carried out using the methods developed for the use of microfocus radiography for seeds and fruits. **Results**. *A. manshuriensis* has been grown in the Peter the Great Botanical Garden since 1909. The first flowering was observed in 1918 and 1919, the first fruiting in 1924. Currently, plants of the third or fourth generation are present in the collection. *A. macrophylla* has been known in St. Petersburg since 1816. Over a 200-year period of introduction, only flowering was observed. For the first time, fruiting in this species was registered in 2007; since 2014, second-generation plants have been grown. Analysis of the seeds collected in 2016 and 2017 showed that they are viable and of high quality in both species of *Aristolochia*. These species are winter-hardy, demonstrate rapid growth, and may somewhat vary in the timeframe of the passage of main phenological phases in their seasonal rhythm of development. **Conclusion.** For laying out plantations, it is better to use seeds. *A. macrophylla* and *A. manshuriensis* are promising for wider cultivation and use in vertical landscaping.

Key words: plant introduction, X-ray analysis, arboriculture, Peter the Great Botanical Garden, vertical landscaping.

Введение

Род *Aristolochia* L. (кирказон, семейство Aristolochiaceae) – преимущественно многолетние травянистые растения с вьющимися или прямостоячими стеблями, реже – деревянистые крупные лианы с сердцевидными листьями. В роде около 300 видов (Hillier, Coombes, 2003), произрастающих преимущественно в тропиках. По данным сайта http://www.theplantlist.org, род включает 485 видов. Цветки зигоморфные, пазушные, на длинных изогнутых цветоножках; околоцветник неправильный, с длинной, вздутой и изогнутой трубкой; завязь нижняя. Плод – продолговатая коробочка, с шестью створками. Семена округло-треугольные, твердые. Некоторые виды

этого рода используют в медицине (Schreter, 1975; Youns et al., 2010; De Broe, 2012), в том числе для терапии онкологических и урологических заболеваний (Laing et al, 2002; Wooltorton, 2004). Древовидные кирказоны (аристолохии) одинаково эффектны как декоративные растения не только на деревьях, но и на различных опорах. Хорошо реагируют на плодородие почв и могут расти как на открытом солнце, так и при некотором затенении. Их активно рекомендуют и используют для вертикального озеленения – покрытия стен, заборов, беседок (Golovach, 1973, 1980; Rubtsov, Shipchinsky, 1951). Размножают кирказоны чаще семенами, черенки укореняются в незначительном проценте (Voronkova et al., 2000; Rubtsov, Shipchinsky, 1951). В последние годы уделяют внимание изучению особенностей антэкологии и качеству семян ряда видов рода, в том числе и *A. manshuriensis*, как у культивируемых, так и дикорастущих растений (Nakonechnaya et al., 2005; Nechaev, Nakonechnaya, 2009). Разрабатывают методы микроклонального размножения для сохранения и возможной репатриации в места естественного произрастания, а также получения сырья для извлечения биологически активных веществ (Molkanova, Egorova, 2017).

Кирказон маньчжурский, или аристолохия маньчжурская (*A. manshuriensis* Kom.) – единственная древесная лиана этого рода во флоре России (Koropachinskii, Vstovskaya, 2012). Растет в южной части Приморского края, соседних районах Китая и на севере полуострова Корея по долинам рек, в нижней части склонов, в смешанных лесах, по опушкам леса. Очень редкий вид, занесен в Красную книгу Российской Федерации со статусом 1, как вид под угрозой исчезновения (Red Data Book..., 2008). Это мощная лиана, достигающая при наличии опоры высоты 15 м и выше. Листья округло-сердцевидные, строго симметричные, крупные (до 30 см в диаметре), располагаются мозаично и черепитчато, образуя густо облиственную крону. Цветки со слабым малоприятным запахом. Трубка околоцветника подковообразно изогнутая, от 6 до 9 см дл. Отгиб околоцветника коричневато-темно-пурпурный или зеленовато-желтый, лимб цветка до 3 см в диаметре. Плод – округло-шестигранная, цилиндрическая, прямая, гладкая коробочка, до 11 см дл. и 2,5 см шир. На Северо-Западе России созревает в октябре, при созревании коробочка растрескивается с верхнего конца на 6 створок, обнаруживая 6 кожистых продольных перегородок, разделяющих ее на 6 гнезд. Побеги и листья опушены (Golovach, 1973; Nechaev, Nakonechnaya, 2009). В культуре в Западной Европе этот вид, очевидно, не известен (не включен в справочник Hillier (Hillier, Coombes, 2003) и другие справочники).

В Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург) был выращен из семян в 1909 г. (Svyazeva, 2005). Со временем из Сада распространился в другие ботанические сады России и Западной Европы (Rehder, 1949). К 1926 году экземпляр кирказона маньчжурского в Ботаническом саду достигал 6–7 м выс. и до 2 см в диаметре (Meissner, 1926). После Великой Отечественной войны три старых экземпляра сохранились на участке № 71 (с 2010 г. – «Японский сад»). В 1954 г. самый старый экземпляр из них, обвивая черемуху, достиг 8 м выс., около 12 м длины и ствол имел 8 см в диаметре у поверхности почвы. В 1965, 1966 г. все старые экземпляры на участке № 71 погибли от механических повреждений (Svyazeva, 2005).

Анализ плодов урожая 1954 г., созревших в Ботаническом саду, показал, что в каждом из них было от 45 до 77 шт. полноценных семян. В каждом из шести гнезд было от 10 до 19 выполненных семян и почти столько же недоразвитых, грунтовая всхожесть составила от 47,5% до 68% (Golovach, 1973). Эти семена явились исходным материалом для дальнейшего выращивания растений. Сейчас в Ботаническом саду есть пять куртин на участках № 80, № 81 и № 82; эти растения представляют собой третье поколение.

В середине XX века особи кирказона маньчжурского достигли высоты до 15 м (при наличии опоры), диаметр корневой шейки – 8 см. Цветение у этого вида начинается с конца мая – начала июня и длится до середины – конца июня, иногда до первых чисел июля (продолжается две-три, редко до четырех недель). Семена созревают во второй половине сентября – октябре. При посеве семян рано весной в подготовленные гряды первые всходы появлялись через два месяца. Максимальная высота однолетнего растения к концу периода вегетации составляла от 9 до 17 см. Полевая всхожесть составляла от 31 до 63%. Кирказон маньчжурский растет медленно только в год появления всходов. Со второго года жизни скорость роста в высоту увеличивается. Пересадка 1–3-летних сеянцев ранней весной давала высокий процент их приживаемости. При пересадке 5-6-летних, даже хорошо развитых растений был отмечен отпад (Golovach, 1980). Листья осенью приобретают лимонно-желтый цвет, затем становятся коричневыми. По состоянию на осень 2017 г. самый крупный экземпляр в Ботаническом саду Петра Великого (участок № 82) достиг размеров: 18,5 м выс., 4 см диам., крона 9,0 × 10,0 м.

В парке Лесного института (в настоящее время Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, ЛТУ) кирказон маньчжурский впервые появился в 1911 г. и находился в вегетативном состоянии. По зимостойкости в начале XX века был отнесен ко II-III группам (Wolf, 1929). Плодоношение впервые отметили в конце 50-х годов XX века (Akimov, Bulygin, 1961), однако в современной коллекции ЛТУ этот вид отсутствует.

На научно-опытной станции БИН РАН «Отрадное» (Приозерский район Ленинградской области) кирказон маньчжурский выращивается с 1969 г. Семена были получены из Приморского края, из природных местообитаний. Начиная с 1986 г. было отмечено нерегулярное цветение и единичное плодоношение, размеры растения по опоре – до 6,5–7,0 м выс. (Svyazeva et al., 2011).

Кирказон крупнолистный, или аристолохия крупнолистная (*Aristolochia macrophylla* Lam.; синонимические названия в документах Ботанического сада БИН РАН – *A. sipho* L'Herit., *A. durior* Hill.) **–** происходит из восточных штатов Северной Америки (от Массачусетса до Канзаса и восточной части Техаса). Достигает до 8–10 м выс. (Rubtsov, Shipchinsky, 1951). Отличается от кирказона маньчжурского голыми побегами и листьями. Цветки более мелкие, чем у *A. manshuriensis*. В культуру введен в 1763 г. Джоном Бартрамом (Laing et al., 2006). Кирказон крупнолистный в России и странах бывшего СССР более известен и шире распространен, чем кирказон маньчжурский. Отмечен как зимостойкая и жизнеспособная культура, хотя для условий Ленинграда (Санкт-Петербурга) ранее было зафиксировано только его цветение (Golovach, 1973, 1980). По шкале зимостойкости этот вид был отнесен ко II (III) группе. И тем не менее, *A. macrophylla* рекомендован как перспективное декоративное растение для вертикального озеленения для юга лесной зоны (Rubtsov, Shipchinsky, 1951).

A. macrophylla в открытом грунте Ботанического сада Петра Великого БИН РАН достоверно известен с 1857 г. (Svyazeva, 2005). В настоящее время выращивается на дендропитомнике БИН РАН (участок № 82). Семена полу-

чены из Югославии, г. Загреб, ботанический сад, всходы 1958 г. По дереву *Carpinus betulus* L. поднимается на высоту 13,5 м, диаметр самого толстого из многочисленных стволиков – 5 см, крона 8,0 × 6,0 м (по состоянию на осень 2017 г.). У кирказона крупнолистного, росшего в парке Лесного института (ЛТУ), отмечали только цветение, о плодоношении данных нет (Wolf, 1917).

Цель работы – оценить качество семян *Aristolochia macrophylla* и *A. manshuriensis* и перспективы их разведения в условиях Санкт-Петербурга.

Материал и методы

Материалом для исследования служили растения двух видов кирказона *A. macrophylla* и *A. manshuriensis* из коллекции Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Проведена оценка зимостойкости, измерены высота, диаметр ствола, диаметр кроны. Размеры и возраст приведены по состоянию растений на осень 2017 г. Оценка обмерзания проведена по шкале П. И. Лапина (Lapin, 1967); фенологические наблюдения и периодизация года – по методике Н. Е. Булыгина (Bulygin, 1982). От каждого вида было собрано по 10–20 плодов, каждый из которых был проанализирован. Выделение среднего образца, крупных и мелких семян, оценку их качества проводили с учетом методических рекомендаций (Ishmuratova, Tkachenko, 2009). Рентгеноскопический анализ плодов и семян проводили согласно разработанным методам применения микрофокусной рентгенографии для семян и плодов (Staroverov et al., 2015; Firsov et al., 2016).

Для определения биометрических параметров семян измеряли в каждой партии по 50 шт. Для определения массы 1000 шт. взвешивали 10 партий по 100 штук, данные усредняли.

Обсуждение результатов

A. manshuriensis в Санкт-Петербурге цветет в конце весны (со второй декады мая) – начале лета (первая декада июня), в течение около двух недель. В парке БИН представлены растения с цветками двух форм окраски: с коричневым и желтым лимбом. Растение высоко декоративно не только в цветении, но и осенью, когда листья приобретают лимонно-желтый цвет; выделяется очень крупными листьями, образующими густое покрытие. Как правило, растения успевают закончить вегетацию до наступления морозов. По состоянию на осень 2017 г. лучший экземпляр в Ботаническом саду Петра Великого (участок № 82), используя в качестве опоры старое дерево дуба черешчатого, достиг размеров: 18,5 м выс., 4 см диам., крона 9,0 × 10,0 м. Это превосходит размеры, отмечавшиеся для этого вида здесь ранее. В литературе нет точных данных о размерах растений в природных условиях.

Плод *A. manshuriensis* – синкарпная многосемянная продолговатая коробочка, раскрывающаяся шестью створками. Семена плоские, выпукло-вогнутые, округло-треугольные, твердые, с кожистыми узкими крыловидными краями, снабжены парой прозрачных пленчатых «крыльев» (кожистые остатки эндотелия в виде полупрозрачной ленты) 1,0–1,5 см. дл., способствующей распространению семян ветром (рис. 1). В плоде семена разделены строфиолью, разросшейся губчатой тканью рафе, расположенной на спинной стороне семени, способствующей распространению семян водой (Nechaev, Nakonechnaya, 2009).



Рис. 1. Семя *Aristolochia manshuriensis* Kom. По бокам семени видны пленчатые крылатки, сверху над семенем расположена пористая губчатая ткань – строфиоль

Fig. 1. Seeds of *Aristolochia manshuriensis* Kom. Filmy wings are visible on the sides of the seeds, and a porous spongy tissue – strophiol – is located above the seed

В дендропитомнике БИН *A. macrophylla* растет по дереву граба обыкновенного (*Carpinus betulus*) и поднимается на высоту 13,5 м, диаметр самого толстого из многочисленных стволиков – 5 см, крона 8,0 × 6,0 (по состоянию на осень 2017 г.) – размеры лианы во многом обусловлены размерами дерева-хозяина, который она использует как опору. Два рядом стоящих дерева *C. betulus* являются самыми крупными в Санкт-Петербурге, и размеры кирказона крупнолистного в настоящее время превзошли таковые, известные в литературе для Санкт-Петербурга и других центров интродукции. Первое плодоношение кирказона крупнолистного было отмечено в 2007 г. Фенологические фазы сезонного развития кирказон крупнолистный проходит на 7–10 дней позже, чем кирказон маньчжурский, начало и конец цветения наступают в более поздние сроки, листья могут оставаться зелеными до глубокой осени. Семена урожая 2013 г., собранные с маточного растения в дендропитомнике, были посеяны весной (в начале мая) 2014 г. К августу того же года сеянцы уже достигли 4–8 см выс. К настоящему времени имеется 10 экземпляров, которые и намечены к высадке в парк.

Биометрические показатели плодов двух видов кирказонов представлены в таблице 1. *A. manshuriensis* имеет более крупные плоды и семена, чем *A. macrophyl-*

Таблица 1. Биометрические показатели плодов и семян *Aristolochia macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* Kom.
Table 1. Biometric indicators of fruits and seeds of *Aristolochia macrophylla* Lam. and *A. manshuriensis* Kom.

Вид / Species	Параметры / Parameters											
	Размер плода, см / Fruit size, cm		Число семян в плоде, шт. / Number of seeds per fruit	Число семян в сегменте, шт. / Number of seeds per segment	Размеры семян, мм / Seed size, mm		Масса 1000 шт. семян, г* / 1000 seed weight, g*		Масса 1000 шт. крупных семян, г / Weight of 1000 large seeds, g		Масса 1000 шт. мелких семян, г / Weight of 1000 small seeds, g	
	Длина / Length	Ширина / Width			Длина / Length	Ширина / Width	2016	2017	2016	2017	2016 г	2017
Aristolochia macrophylla	6,8 5,0 – 9,0	2,8 2,0 – 3,5	34,8 22,0 – 44,0	5,9 4,0 – 9,0	8,9 7,0 – 10,0	7,5 6,0 – 9,0	18,5 14,8 – 20,8	12,1 9,0 – 14,6	19,6 13,0 – 20,8	14,4 11,3 – 17,7	16,1 14,8 – 18,6	10,4 7,4 – 11,2
Aristolochia manshuriensis	10,1 9,0 – 11,0	3,9 3,5 – 4,5	99,7 76,0 – 129,0	18,8 11,0 – 25,0	10,0 9,0 – 11,0	10,0 9,0 – 11,0	30,4 26,4 – 33,8	28,5 21,8 – 39,0	34,6 25,5 – 40,2	26,9 20,2 – 37,6	22,8 19,4 – 29,1	21,9 18,7 – 23,9

Примечание: в числителе – среднее арифметическое значение, в знаменателе – минимальные и максимальные значения; 2016 и 2017 – год сбора плодов;
* – приведены данные для среднего образца (без разбора на фракции)
Note: the numerator shows the mean arithmetic value, the denominator shows minimum and maximum values; 2016 and 2017 are the years when the fruits were harvested;
* – marks the data for an average sample (without fractioning)

la. Масса 1000 шт. семян в 2016 г. была больше у обоих видов по сравнению с 2017 г. Биометрические показатели плодов и семян интродуцированных растений *A. manshuriensis* близки к таковым, полученным для растений, растущих в природных местах обитания (Nechaev, Nakonechnaya, 2009). Различия в размерах плодов и семян двух интродуцированных видов также видны на рисунках 2 и 3.

На представленных рентгеновских снимках семян урожая 2016 г. (рис. 4 и 5) видно, что у *A. macrophylla* не все семена выполненные. Выполненные семена на снимке выглядят светлыми, а щуплые – темными.

Полевая всхожесть семян *A. manshuriensis* (табл. 2), посеянных в год сбора под зиму, весной дала сравнимые результаты с ранее опубликованными (Golovach, 1973). Отмечена гетероспермия у семян кирказонов, которая



Рис. 2. Плоды (A) и семена (B) *Aristolochia macrophylla* Lam.
Fig. 2. Fruit (A) and seeds (B) of *Aristolochia macrophylla* Lam.



Рис. 3. Плоды (A) и семена (B) *Aristolochia manshuriensis* Kom.
Fig. 3. Fruit (A) and seeds (B) of *Aristolochia manshuriensis* Kom.

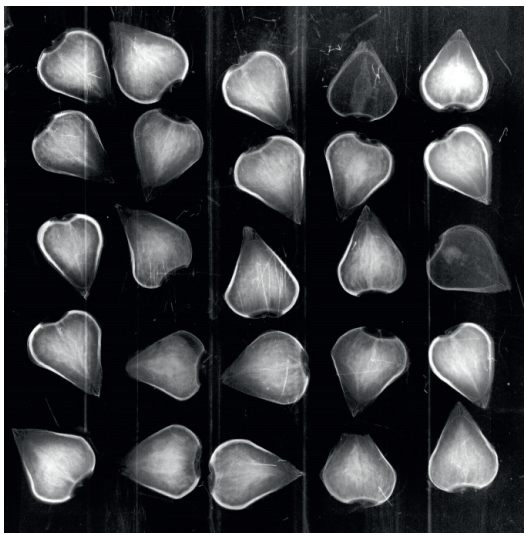


Рис. 4. Рентгеновский снимок семян *Aristolochia macrophylla* Lam. урожая 2016 г.
Fig. 4. An X-ray image of the seeds of *Aristolochia macrophylla* Lam. harvested in 2016

Таблица 2. **Полевая всхожесть семян *Aristolochia manshuriensis* Kom.**

Table 2. **Field seed germination of *Aristolochia manshuriensis* Kom.**

Семена / Seeds	Дата сбора / Collection date	Число семян / Number of seeds	Дата посева / Sowing date	Дата учета всходов / Sprouting date	Всхожесть, % / Germination rate, %
Крупные	26.09.16	50	06.10.16	25.06.17	66
Мелкие	26.09.16	47	09.10.16	24.09.17	13
Средний образец *	13.10.16	35	27.10.16	24.09.17	20

* средний образец – смесь семян из 5 плодов
* average sample is a mixture of seeds from 5 fruits

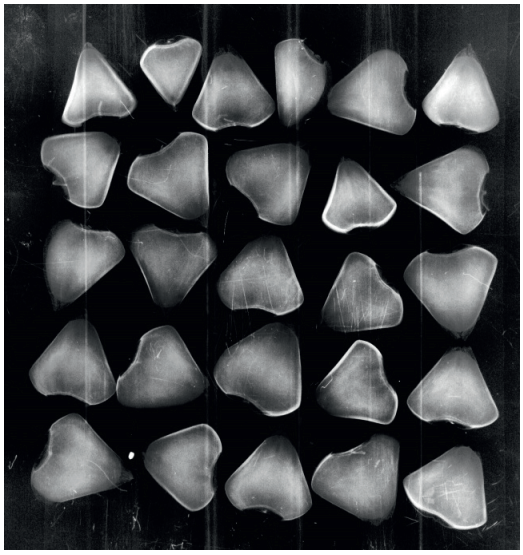


Рис. 5. **Рентгеновский снимок семян *Aristolochia manshuriensis* Kom. урожая 2016 г.**

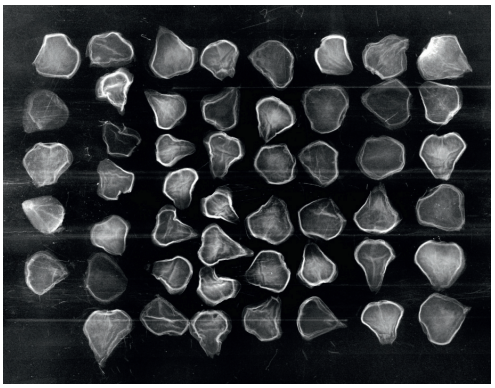
Fig. 5. **An X-ray image of the seeds of *Aristolochia manshuriensis* Kom. harvested in 2016**

выражается в том, что семена, расположенные по краям плода-коробочки, мелкие и имеют низкую всхожесть. Семена, расположенные в центре плода, более крупные, имеют большую массу 1000 шт. семян и более высокую всхожесть. Всходы кирказонов в летний период значительно повреждаются слизнями (брюхоногие моллюски класса Gastropoda).

A. macrophylla, хотя и цветет периодически, плодоносит эпизодически и слабо. Всхожесть семян этого вида ниже таковой у *A. manshuriensis*. И как видно из рисунка 6 (семена *Aristolochia macrophylla*), в среднем образце из всех собранных семян очень много щуплых (почти 75%), невыполненных, особенно среди семян мелкого размера (100%). Семена *A. manshuriensis* (рис. 7) лучше по качеству, количество щуплых семян не превышает 5–7%).

A)





B)

Рис. 6. **Рентгеновский снимок семян *Aristolochia macrophylla* Lam. урожая 2017 г.: А – семена, подготовленные для рентгеноскопии; В – рентгеновский снимок семян**

Fig. 6. **An X-ray image of the seeds of *Aristolochia macrophylla* Lam. harvested in 2017: A – seeds prepared for X-raying; B – the X-ray image of the seeds**

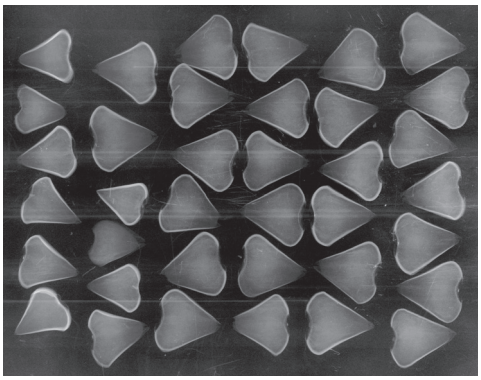
A)   B)

Рис. 7. Рентгеновский снимок семян *Aristolochia manshuriensis* Kom.урожая 2017 г.: А – семена, подготовленные для рентгеноскопии; В – рентгеновский снимок семян

Fig. 7. An X-ray image of the seeds of *Aristolochia manshuriensis* Kom. harvested in 2017: A – seeds prepared for X-raying; B –- the X-ray image of the seeds

Погодные условия 2017 г. в Санкт-Петербурге были хуже предыдущего года. Частые дожди, низкие среднесуточные температуры не способствовали лету опылителей и, соответственно, завязыванию плодов и вызреванию семян. Это подтверждает и рисунок 6, на котором видно, что процент пустых и невыполненных семян достигает 75%.

Заключение

Первое семенное потомство кирказона маньчжурского (*Aristolochia manshuriensis*) и кирказона крупнолистного (*A. macrophylla*) собственной репродукции выращивается в дендропитомнике БИН РАН с 2014 г.

Анализ семян, собранных в 2016, 2017 годах, показал, что семена обоих видов кирказона (*A. manshuriensis* и *A. macrophylla*) жизнеспособны, но в разные годы различаются своим качеством (степенью выполненности). Древовидные кирказоны устойчивы в современных климатических условиях Северо-Запада России. Они перспективны для широкой культуры и применения в вертикальном озеленении. При использовании в ландшафтном дизайне и озеленении следует учитывать, что кирказон маньчжурский достигает более крупных размеров по сравнению с кирказоном крупнолистным. Оба вида могут несколько различаться по срокам прохождения основных фенофаз своего сезонного ритма развития и по осенней окраске листьев.

Работа выполнена в рамках госзадания по плановой теме «Коллекции живых растений Ботанического института им. В.Л. Комарова (история, современное состояние, перспективы использования)», номер АААА-А18-118032890141 – 4.

The research was performed in the framework of the State Task according to the planned theme "Collections of Live Plants at the Komarov Botanical Institute (History, Modern State, and Prospects of Utilization)," No. AAAA-A18-118032890141 – 4.

Авторы выражают слова глубокой признательности д. т. н., проф. А. Ю. Грязнову и сотруднику кафедры электронных приборов и устройств Н. Е. Староверову (Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ») за оказание помощи в проведении рентгенографического анализа семян.

The authors express their deep gratitude to Prof. A. Yu. Gryaznov, Dr. Eng. Sci., and N. E. Staroverov, Dept. of Electronic Instruments and Devices, St. Petersburg Electrotechnical University (LETI), for their assistance in the X-ray analysis of seeds.

References/Литература

Akimov P.A., Bulygin N.E. The most interesting trees and shrubs of the arboretum and park of the S.M. Kirov Leningrad Forestry Academy (Naiboleye interesnye derevya i kustarniki dendrologicheskogo sada i parka Leningradskoy lesotekhnicheskoy akademii im. S.M. Kirova). Leningrad: Forestry Academy; 1961. [in Russian] (Акимов П.А., Булыгин Н.Е. Наиболее интересные деревья и кустарники дендрологического сада и парка Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова. Ленинград: ЛТА; 1961).

Bulygin N.E. Biological bases of dendrophenology (Biologicheskiye osnovy dendrofenologii). Leningrad: Forestry Academy; 1982. [in Russian] (Булыгин Н.Е. Биологические основы дендрофенологии. Ленинград: ЛТА; 1982).

De Broe M.E. Chinese herbs nephropathy and Balkan endemic nephropathy: toward a single entity, aristolochic acid nephropathy. *Kidney International*, 2012;81(6):513-515. DOI: 10.1038/ki.2011.428

Firsov G.A., Volchanskaya A.V., Tkachenko K.G., Staroverov N.E., Gryaznov A.Yu. *Cydonia oblonga* Mill. (Rosaceae) at the Peter the Great Botanical Garden. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(4):28-36. [in Russian] (Фирсов Г.А., Волчанская А.В., Ткаченко К.Г., Староверов Н.Е., Грязнов А.Ю. Айва обыкновенная (*Cydonia oblonga*, Rosaceae) в Ботаническом саду Петра Великого. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 2016;177(4):28-36). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-4-28-36

Golovach A.G. Trees, shrubs and vines in the Botanical Garden of BIN, USSR Academy of Sciences (Derevya, kustarniki i liany Botanicheskogo sada BIN AN SSSR). Leningrad: Nauka; 1980. [in Russian] (Головач А.Г. Деревья, кустарники и лианы Ботанического сада БИН АН СССР. Ленинград: Наука; 1980).

Golovach A.G. Vines, their biology and use (Liany, ikh biologiya i ispolzovaniye). Leningrad: Nauka; 1973. [in Russian] (Головач А.Г. Лианы, их биология и использование. Ленинград: Наука; 1973).

Hillier J., Coombes A.J. (eds). The Hillier manual of trees and shrubs. Newton Abbot, England: David and Charles; 2003.

Ishmuratova M.M., Tkachenko K.G. Seeds of herbaceous plants. Features of the latent period, use in introduction and reproduction *in vitro* (Semena travyanistykh rasteniy. Osobennosti latentnogo perioda, ispolzovaniye v introduktsii i razmnozhenii *in vitro*). Ufa: Gilem; 2009. [in Russian] (Ишмуратова М.М., Ткаченко К.Г.

Семена травянистых растений. Особенности латентного периода, использование в интродукции и размножении *in vitro*. Уфа: Гилем; 2009). URL: https://elib.bashedu.ru/dl/local/Ishmuratova_Tkachenko_Semena%20travjanistyh%20rastenij_mon_2009.pdf/view [дата обращения: 31.01.2020].

Koropachinskii I.Yu., Vstovskaya T.N. Woody plants of Asian Russia (Drevesnye rasteniya Aziatskoy Rossii). Novosibirsk: Geo; 2012. [in Russian] (Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Гео; 2012).

Laing C., Hamour S., Sheaff M., Miller R., Woolfson R. Chinese herbal uropathy and nephropathy. *The Lancet.* 2006;368(9532):338. DOI: 10.1016/S0140-6736(06)69079-X

Lapin P.I. Seasonal rhythm of the development of woody plants and its significance for introduction (Sezonny ritm razvitiya drevesnykh rasteniy i yego znacheniye dlya introduktsii). *Byulleten GBS AN SSSR = Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences.* 1967;(65):13-18. [in Russian] (Лапин П.И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции. *Бюллетень ГБС АН СССР*. 1967;(65):13-18).

Meissner G.C. *Aristolochia manshuriensis* Komar. *Gartenflora*. 1926;75:215-216. [in German]

Molkanova O.I., Egorova D.A. Some aspects of *Aristolochia manshuriensis* Kom. *in vitro* cultivation. *Bulletin of Udmurt University.* 2017;27(2):151-157. [in Russian] (Молканова О.И., Егорова Д.А. Некоторые аспекты культивирования *in vitro Aristolochia manshuriensis* Kom. *Вестник Удмуртского университета*, 2017;27(2):151-157).

Nakonechnaya O.V., Koren O.G., Nesterova S.V., Sidorenko V.S., Kholina A.B., Batygina T.B. et al. Reproductive biology of *Aristolochia manshuriensis* (Aristolochiaceae) under the conditions of introduction. *Rastitelnye Resursy = Plant Resources*. 2005;41(3):14-25. [in Russian] (Наконечная О.В., Корень О.Г., Нестерова С.В., Сидоренко В.С., Холина А.Б., Батыгина Т.Б. и др. Репродуктивная биология *Aristolochia manshuriensis* (Aristolochiaceae) в условиях интродукции. *Растительные ресурсы*. 2005;41(3):14-25).

Nechaev V.A., Nakonechnaya O.V. Fruit and seed structure, and methods of dissemination of two species in the genus *Aristolochia* L. in Primorsky Territory (Stroeniye plodov, semyan i sposoby disseminatsii dvukh vidov roda *Aristolochia* L. v Primorskom kraye). *Izvestiya RAN. Ser. Biologicheskaja = Proceedings of the RAS. Biological Series* 2009;(4):468-472. [in Russian] (Нечаев В.А., Наконечная О.В. Строение плодов, семян и способы диссеминации двух видов рода *Aristolochia* L. в Приморском крае. *Известия РАН. Сер. Биологическая*. 2009;(4):468-472).

Red Data Book of the Russian Federation (Plants and Mushrooms) (Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii [rasteniya i griby]). Moscow; 2008. [in Russian] (Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). Москва; 2008). URL: http://oopt.aari.ru/ref/38 [дата обращения: 28.02.2020].

Rehder A. Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America, exclusive of the subtropical and warmer temperate regions. 2nd ed. New York: MacMillan Co.; 1949.

Rubtsov L.I., Shipchinsky N.V. Family 14. Aristolochiaceae Blume – Birthwort species. (Sem. 14. Aristolochiaceae Blume – Kirkazonovye). In: *Trees and Shrubs of the USSR* (*Derevya i kustarniki SSSR*). *Vol. 2.* Moscow; Leningrad: USSR Acad. of Sci.; 1951. p.539-542. [in Russian] (Рубцов Л.И., Шипчинский Н.В. Сем. 14. Aristolochiaceae Blume – Кирказоновые. В кн.: *Деревья и кустарники СССР. Т. 2.* Москва; Ленинград: АН СССР; 1951. С.539-542).

Schreter A.I. Medicinal flora of the Soviet Far East (Lekarstvennaya flora Sovetskogo Dalnego Vostoka). Moscow: Meditsina; 1975. [in Russian] (Шретер А.И. Лекарственная флора Советского Дальнего Востока. Москва: Медицина; 1975).

Staroverov N.E., Gryaznov A.Y., Zhamova K.K., Tkachenko K.G., Firsov G.A. The application of the method of microfocus X-ray for quality control of fruits and seeds reproductive diasporas. *Biotekhnosfera = Biotechnosphere*. 2015;6(42):16-19. [in Russian] (Староверов Н.Е., Грязнов А.Ю., Жамова К.К., Ткаченко К.Г., Фирсов Г.А. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества плодов и семян репродуктивных диаспор. *Биотехносфера*. 2015;6(42):16-19).

Svyazeva O.A. Trees, shrubs and vines of the park of the Botanical Garden at the Komarov Botanical Institute (to the history of introduction into cultivation) (Derevya, kustarniki i liany parka Botanicheskogo sada Botanicheskogo instituta im. V.L. Komarova [k istorii vvedeniya v kulturu]). St. Petersburg: Rostok; 2011. [in Russian] (Связева О.А. Деревья, кустарники и лианы парка Ботанического сада Ботанического института им. В.Л. Комарова (к истории введения в культуру). Санкт-Петербург: Росток; 2005).

Svyazeva O.A., Lux Yu.A., Latmanizova T.M. Introduction nursery of the Komarov Botanical Institute in the northeast of the Karelian Isthmus (Leningrad Province) (Introduktsionny pitomnik Botanicheskogo instituta im. V.L. Komarova na severo-vostoke Karelskogo peresheyka [Leningradskaya oblast]). St. Petersburg: Rostok; 2011. [in Russian] (Связева О.А., Лукс Ю.А., Латманизова Т.М. Интродукционный питомник Ботанического института им. В.Л. Комарова на северо-востоке Карельского перешейка (Ленинградская область). Санкт-Петербург: Росток; 2011).

Voronkova N.M., Nesterova S.V., Zhuravlev Yu.N. Propagation of rare plant species of Primorsky Territory (Razmnozheniye redkikh vidov rasteniy Primorskogo kraya). Vladivostok; 2000. [in Russian] (Воронкова Н.М., Нестерова С.В., Журавлев Ю.Н. Размножение редких видов растений Приморского края. Владивосток; 2000).

Wolf E.L. Observations of frost resistance in woody plants (Nablyudeniya nad morozostoykostyu derevyanistykh rasteniy). *Bulletin of Applied Botany*. 1917;10(1):1-146. [in Russian] (Вольф Э.Л. Наблюдения над морозостойкостью деревянистых растений. *Труды бюро по прикладной ботанике*. 1917;10(1):1-146).

Wolf E.L. Park and arboretum of the Forest Institute (Park i arboretum Lesnogo instituta). *Izvestiya Leningradskogo lesnogo instituta = Bulletin of Leningrad Forest Institute*. 1929;(37):235-268. [in Russian] (Вольф Э.Л. Парк и арборетум Лесного института. *Известия Ленинградского лесного института*. 1929;(37):235-268).

Wooltorton E. Several Chinese herbal products may contain toxic aristolochic acid. *Canadian Medical Association Journal*. 2004;171(5):449. DOI: 10.1503/cmaj.1041266

Youns M., Hoheisel J.D., Efferth T. Toxicogenomics for the prediction of toxicity related to herbs from traditional Chinese medicine. *Planta Medica*. 2010;76(17):2019-2025. DOI: 10.1055/s-0030-1250432

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

Ткаченко К.Г., Фирсов Г.А., Волчанская А.В. Качество семян *Aristolochia macrophylla* Lam. и *A. manshuriensis* Kom. в Санкт-Петербурге. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):14-22. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-14-22

Tkachenko K.G., Firsov G.A., Volchanskaya A.V. Seed quality of *Aristolochia macrophylla* Lam. and *A. manshuriensis* Kom. in St. Petersburg. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):14-22. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-14-22

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/10.30901/2227-8834-2020-2-14-22

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Tkachenko K.G. https://orcid.org/0000-0001-6841-6561
Firsov G.A. https://orcid.org/0000-0002-6611-5199
Volchanskaya A.V. https://orcid.org/0000-0001-7117-8875

Коллекционные образцы – определяющий фактор получения новых сортов дыни

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-23-27
УДК 635.611-152
Поступление/Received: 13.01.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

Е. А. ВАРИВОДА*, Т. Г. КОЛЕБОШИНА, М. С. КОРНИЛОВА

Быковская бахчевая селекционная опытная станция – филиал Федерального научного центра овощеводства, 404067 Россия, Волгоградская обл., Быковский р-н, пос. Зеленый, ул. Сиреневая, 11
** elena-varivoda@mail.ru*

Collection accessions and source material as a determining factor for producing new melon cultivars

E. A. VARIVODA*, T. G. KOLEBOSHINA, M. S. KORNILOVA

Bykovsky Cucurbit Breeding Experiment Station, branch of the Federal Scientific Vegetable Center, 11 Sirenevaya St., Zelyony Settlem., Bykovsky Dist., Volgograd Province 404067, Russia
** elena-varivoda@mail.ru*

Актуальность. Главным направлением селекционной работы по дыне является создание сортов, обладающих хорошими вкусовыми качествами, высокой урожайностью и устойчивостью к болезням. Для решения этих задач необходимо создать новый исходный материал, отвечающий заданным требованиям. **Материалы и методы.** Исследования проводились на Быковской бахчевой селекционной опытной станции. Объектом исследований служили коллекционные образцы дыни различного происхождения, а также гибриды F_1 из питомника исходного материала. Всего за период 2015–2017 гг. изучалось более 100 образцов дыни: из коллекции ВИР (45 образцов), различных фирм (61 образец) и селекции различных НИИ (12 образцов). В питомнике исходного материала проводилась гибридизация образцов и испытание полученных гибридных комбинаций, в том числе на инфекционном фоне. Все они оценивались по хозяйственно ценным признакам, урожайности, вкусовым качествам, устойчивости к био- и абиострессорам. Испытания проводились в сравнении с лучшими районированными сортами в богарных условиях согласно разработанным методикам. **Результаты.** Цель данной работы заключалась в изучении генетических коллекций дыни и получении новых исходных форм для дальнейшей селекционной работы. В результате изучения коллекционного материала было выделено 12 образцов, обладающих следующими хозяйственно ценными признаками: высокой урожайностью (превышение над стандартом более 20%), высоким содержанием сухих веществ (от 14 до 19%), крупноплодностью (масса плода более 4,0 кг), и другими признаками. После гибридизации и испытания в F_1 выделились пять следующих гибридных комбинаций: Эклер × Осень; Дюна × Майская, Шекер × № 323; Катюша × Местный (к-7459, Грузия); Гармония × Местный (к-7461, Грузия) характеризующихся комплексом важных для селекции признаков. **Заключение.** Таким образом, для дальнейшей селекционной работы и получения новых сортов дыни отобраны исходные образцы, обладающие урожайностью более 15,0 т/га, содержанием сухих веществ от 13,0%, яркой окраской плодов, устойчивостью к болезням.

Ключевые слова: образцы, гибридизация, сухие вещества, урожайность.

Background. The main trend in melon breeding is the development of cultivars with good taste, high yield, and disease resistance. The task may be solved through a scientific search for new source material meeting these requirements. **Materials and methods.** The research was performed at Bykovsky Cucurbit Breeding Experiment Station. Melon accessions of various origin and F_1 hybrids from the nursery of source material served as the research material. In total, during the period of 2015–2017, over 100 melon accessions were studied: 45 accessions from the VIR collection, 61 from various companies, and 12 developed at various research institutions. In the nursery of source material, the accessions were hybridized and the resulting hybrid combinations were tested, including tests against infections. All of them were evaluated for their economically useful traits, yield, taste qualities, and resistance to bio- and abiostressors. During the trials they were compared with the best released cultivars approved for dryland conditions according to the developed guidelines. **Results.** The purpose of this work was to study the genetic collections of melons and obtain new source forms for further breeding. As a result of the study of the collection material, 12 accessions were identified with the following economically useful traits: high yield (exceeding the reference by more than 20%), high dry matter content (from 14 to 19%), large fruit size (fruit weight higher than 4.0 kg), and other features. After hybridization and testing in F_1, the following 5 hybrid combinations were distinguished: Ekler × Osen; Dyuna × Mayskaya, Sheker and No 323; Katyusha × Mestny (k-7459, Georgia); Harmony × Mestny (k-7461, Georgia), characterized by a set of features important for breeding. **Conclusion.** Thus, for further improvement by breeding and release of new melon cultivars, source accessions were selected with a yield exceeding 15.0 t/ha, dry matter content of 13.0%, bright fruit color, and resistance to diseases.

Key words: accessions, hybridization, dry substance content, yield.

Введение

Отрасль овощеводства является одним из главных факторов обеспечения продовольственной безопасности страны, так как овощи играют важную роль в структуре питания (Soldatenko, Pyshnaya, 2018). Немаловажное значение в здоровом питании населения имеет и продукция бахчевых культур.

Потребность населения и перерабатывающей промышленности в продукции бахчевых культур в настоящее время удовлетворяется не полностью. Поэтому актуальным направлением является создание и внедрение в производство новых сортов с ценными хозяйственными признаками, обладающих высокой экопластичностью и способностью давать стабильные урожаи (Varivoda E.A. et al., 2018). Современная система селекционной работы по бахчевым культурам включает: создание, поддержание и использование генетических коллекций; непосредственно селекционную работу (проведение направленных скрещиваний, изучение и отбор селекционного материала); эколого-производственное сортоиспытание новых сортов; передачу их в Государственное сортоиспытание и Госреестр селекционных достижений РФ, внедрение новых сортов в производство.

В селекционном процессе по созданию новых генотипов дыни большое значение имеет подбор исходных форм для скрещивания, которые наряду с ценными признаками, отличаются высокой степенью устойчивости к абиотическим факторам внешней среды. Поэтому изучение коллекционных сортообразцов является необходимым этапом на пути создания новых сортов и гибридов (Eliseeva, 2017).

Основная задача исследований генетических ресурсов – выделение генетических источников важных признаков для селекции.

Проблема исходного материала для селекции всегда актуальна, в том числе в настоящее время в связи со снижением адаптивного потенциала растениеводства из-за невысокого общего числа возделываемых видов и сужения генетической основы новых сортов. Создание высокопродуктивных сортов и гибридов растений может быть успешным при широком использовании в селекционном процессе диких видов, полукультурных и примитивных форм и местных сортов с высокой степенью адаптации (Artemyeva et al., 2016).

Цель исследования – изучение генофонда дыни на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам и выделение исходного материала для использования в селекционных программах.

Материалы и методы

Исследования проводились на Быковской бахчевой селекционной опытной станции (Быковская БСОС). Объектом исследований служили коллекционные образцы дыни различного происхождения, а также гибриды F_1 из питомника исходного материала. Всего за период 2015–2017 гг. изучалось более 100 образцов дыни: из коллекции ВИР (45 образцов), различных фирм (61 образец) и селекции различных НИИ (12 образцов). В питомнике исходного материала проводилась гибридизация образцов и испытание полученных гибридных комбинаций, в том числе на инфекционном фоне. Все они оценивались по хозяйственно ценным признакам, урожайности, вкусовым качествам, устойчивости к био- и абиострессорам. Испытания проводились в сравнении с лучшими районированными сортами в богарных условиях согласно разработанным методикам (Litvinov, 2011; Fursa, 1988; Dyutin, 1979).

Высевалось 10–30 растений на делянке с площадью питания 2 м^2. Агротехника общепринятая для выращивания бахчевых культур.

Во время вегетации проводили фенологические наблюдения по фазам роста и развития растений, во время созревания – дегустационную оценку плодов, определяли содержание сухих веществ с помощью полевого рефрактометра, оценку по морфологическим признакам, качественным показателям (окраска и консистенция мякоти и др.) и учет урожая.

Оценку на устойчивость дыни к антракнозу и мучнистой росе проводили при искусственном заражении растений дыни в фазе 2–3 настоящих листочков. Источниками инфекции были пораженные растения (кора дыни, листья). Споры гриба смывали дистиллированной водой, раствор фильтровали. Концентрация суспензии составляла 100 тыс. конидий в мл раствора. Растения опрыскивали суспензией гриба и накрывали пленкой для поддержания высокой влажности и температуры. Болезнь начинала проявляться на 3–4 сутки. Пленку снимали и проводили на 9–10 сутки учет пораженных растений. Степень поражения растений оценивали по 5-балльной шкале, выводили процент и средний балл поражения по существующим методикам (Dyutin, 1980; Dyutin et al., 2001).

Погодные условия Волгоградского Заволжья за период исследований:

2015 год характеризовался высокой температурой воздуха и большим количеством осадков – 240,4 мм. Общее количество осадков за вегетационный период года было выше среднемноголетних данных на 50,6%. Средняя температура воздуха превышала среднемноголетние показатели по всем месяцам на 1,5–6,1°С. Также наблюдались большие перепады между дневными и ночными температурами воздуха.

2016 год. Общее количество осадков за вегетационный период было выше среднемноголетних данных в 3,2 раза (511,5 мм). Самое большое количество осадков выпало в мае, что не позволило вовремя провести сев бахчевых культур. В результате полноценные всходы были получены в середине июня, что отрицательно сказалось на урожайности.

2017 год был засушливым. Общее количество осадков за вегетационный период составило 206,3 мм, что ниже среднемноголетних данных на 19,3%. В первой половине вегетации температура воздуха была ниже многолетних данных на 2,5–2,6°С. Высокая температура воздуха и полное отсутствие осадков в августе и сентябре привело к прекращению роста плодов и их быстрому созреванию, что отрицательным образом сказалось на урожайности бахчевых культур.

Результаты исследований и их обсуждение

Определяющим фактором получения высоких и стабильных урожаев бахчевых культур является использование в товарном производстве новых высокопродуктивных сортов арбуза, дыни, тыквы, потенциал которых должен сочетаться, помимо урожайности, с высокой устойчивостью к комплексу болезней и основным стрессовым факторам среды (Koleboshina, 2015). Для получения новых сортов на Быковской БСОС ведется изучение коллекционного материала и отбор образцов с необходимыми для селекции признаками. Результаты этой работы представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Характеристика лучших образцов дыни в коллекционном питомнике с 2015 по 2017 г.; Быковская БСОС**

Table 1. **Characteristics of the best melon accessions in the collection nursery (2015–2017, Bykovsky CBES)**

Название образца	Длина вегетационного периода, сутки	Урожайность		Средняя масса плода, кг	Содержание сухих веществ, %
		т/га	% к стандарту		
Осень, стандарт	82	14,2	100	2,4	14,0
Медовая гигантская (фирма «Седек»)	67	25,0	+76,1	3,0	12,0
Местная (к-7148, Приморский край)	73	18,7	+31,7	3,7	9,0–10,0
Местный (к-3254, (Казахстан)	82	17,5	+23,2	2,8	10,5–11,0
Эклер (ЭЛИТагро)	87	15,3	+7,7	1,5	10,0–11,0
Жансая, (к-7562, Казахстан)	75	18,1	+27,5	2,1	11,0–12,0
Шекер, к-3440. Казахстан)	68	17,5	+23,2	2,0	14,0–14,6
Местный (к-7459, Грузия)	79	18,1	+27,5	2,9	14,0
Местный (к-7461, Грузия)	79	19,1	+34,5	2,7	13,2–14,0
Honiyew Sreen Flesh (фирма «Поиск»)	80	11,2	–21,1	2,6	18, 2–19,0
Puel de sapo (фирма «Поиск»)	85	13,0	–8,5	4,3	14,0–17,0
Hearts of Gold (фирма «Поиск»)	83	18,6	+30,9	1,4	14,0–18,0
Местный (к-1137, Сомали)	87	15,0	+5,6	1,1	11,0–12,4
GVS 31668 F1 (фирма «Поиск»)	74	13,0	–8,5	4,1	14,6–16,0
GVS 31660 F1 (фирма «Поиск»)	70	13,2	–7,1	4,0	11,2–12,6

Примечание: НСР – 0,41 т/га, Р – 2,9%
Note: LSD = 0.41 t/ha, P = 2.9%

По результатам проведенных исследований по комплексу хозяйственно ценных признаков были выделены следующие образцы:

– по урожайности и высокому содержанию сухих веществ: Местный (к-7461, Грузия), Местный (к-7459, Грузия), Hearts of Gold (фирма «Поиск»);

– по высокому содержанию сухих веществ и крупноплодности: GVS 31668 F_1 (фирма «Поиск»);

– по окраске мякоти и вкусовым качествам: Местный (к-1137, Сомали);

– по массе плода и раннеспелости: GVS 31660 F_1 (фирма «Поиск»).

Основным залогом успеха селекции любой культуры является выбор исходных компонентов для гибридизации. После изучения образцов в коллекционном питомнике намечаются родители для гибридизации. Существует подбор пар на основе эколого-географических различий. В разных почвенных и климатических условиях в процессе естественного и искусственного отборов сформировались разные экотипы растений. Цель данного принципа – объединить по возможности все положительные признаки различных экотипов в новом сорте (Kozlovskaya et al, 2019). Вторым родителем часто является местный генотип с ассоциаций генов, обусловливающих стабильность урожаев в различные по метеоусловиям годы. Проведенные раннее исследования показали, что удлиненная форма плода доминантна к шаровидной и овальной, овальная доминантна к шаровидной. Белая окраска мякоти доминирует над зеленой, оранжевый цвет мякоти – над белой и зеленой. Желтая окраска плода доминирует по отношению к светло-зеленой, но рецессивна к темно-зеленой окраске (Koleboshina et al., 2018). Содержание сухих веществ, длина вегетационного периода наследуются промежуточно.

Для получения более яркой окраски плодов в гибридизации использовали образец дыни ‘Эклер’. Скрещивание провели с сортом нашей селекции ‘Осень’. В резуль-

тате получена гибридная комбинация **Эклер × Осень** со следующими характеристиками: вегетационный период 85 суток. Средняя масса плодов 2,4 кг. Форма плодов короткоовальная. Окраска плодов желтая. Рисунка нет. Поверхность слабосегментированная. Сетка сплошная. Мякоть белая, консистенция картофельная. Содержание сухих веществ 13,8–16,0%. Урожайность 24,0 т/га.

Для увеличения урожайности и улучшения вкусовых качеств провели гибридизацию образцов **Шекер × № 323**. Получили гибридную комбинацию со следующими характеристиками: вегетационный период 82 суток. Средняя масса плодов 2,7 кг. Форма плодов от округлой до шаровидной. Окраска плодов от ярко-желтой до оранжевой. Рисунка нет. Поверхность слабосегментированная. Сетка сплошная. Мякоть белая, консистенция среднеплотная. Содержание сухих веществ 13,0–18,0%. Урожайность 15,5 т/га.

Преобладающим направлением селекции дыни на станции является создание сортов с высокими вкусовыми качествами, обладающих комплексной устойчивостью к болезням, что значительно снижает применение ядохимикатов в обработке посевов и остаточное их содержание в плодах (Varivoda O.P., Varivoda E.A., 2015). Так как устойчивость к болезням наследуется доминантно, очень важно на первых этапах селекционного процесса выявить устойчивые формы. Для определения комплексной устойчивости новых гибридных комбинаций дыни проводится их испытание на инфекционном фоне. Результаты испытания приведены в таблице 2.

Таблица 2. Комплексная устойчивость к антракнозу и мучнистой росе гибридных комбинаций дыни F_1
Table 2. Complex resistance to anthracnose and powdery mildew in F_1 hybrid combinations of melon

№ п/п	Название образца	Мучнистая роса		Антракноз	
		средний балл поражения	% поражения	средний балл поражения	% поражения
1	Осень, стандарт	1,5	25,0	2,3	100
2	Дюна × Местный (к-7456, Грузия)	2,9	88,8	2,0	100
3	Катюша × Местный (к-7459, Грузия)	2,2	60,0	1,4	93,0
4	Осень × Местный (к-7461, Грузия)	2,1	75,0	2,0	100
5	Гармония × Местный (к-7461, Грузия)	2,1	77,8	1,5	81,8

По устойчивости к антракнозу выделились гибридные комбинации Катюша × Местный (к-7459, Грузия) – балл поражения 1,4 при 93% и Гармония × Местный (к-7461, Грузия) – балл поражения 1,5 при 81,8% (стандарт 2,3 балла при 100% поражения). Эти гибридные комбинации являются перспективными по устойчивости к антракнозу и обладают следующими характеристиками:

Катюша × Местный (к-7459, Грузия) – вегетационный период 85 суток. Форма плода шаровидная. Окраска плодов желтая. Рисунок – зеленые пятна. Поверхность слабосегментированная. Имеются элементы сетки. Мякоть белая, консистенция среднеплотная. Содержание сухих веществ 14,5%. Урожайность 18,0 т/га.

Гармония × Местный (к-7461, Грузия) – вегетационный период 82 суток. Форма плодов от удлиненной до короткоовальной. Окраска плодов желтая. Рисунка нет. Поверхность слабосегментированная. Сетка сплошная. Мякоть белая, консистенция среднеплотная. Содержание сухих веществ 14,0–17,4%. Урожайность 15,0 т/га.

Заключение

В результате исследования были выделены образцы дыни, обладающие хозяйственно-ценными признаками для создания новых сортов. При гибридизации с выделенными образцами получили новые исходные комбинации дыни, отличающиеся высокой урожайностью, хорошими вкусовыми качествами и устойчивостью к антракнозу.

Таким образом, для создания новых сортов дыни необходимо детальное изучение и отбор коллекционных образцов и полученных гибридных комбинаций, являющихся неотъемлемой частью селекционной работы.

Работа выполнена по Государственному заданию № 0595-2019-0064 ФНП «Фундаментальные научные исследования «Быковской БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО»

Авторы благодарят сотрудников отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур за подбор генетического материала бахчевых культур.

The research was performed within the framework of State Task No. 0595-2019-0064 "Basic Scientific Research of Bykovsky Cucurbit Breeding Experiment Station, a branch of the Federal Scientific Vegetable Center".

The authors thank the employees of the Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources for the selection of the genetic material of cucurbits.

References/Литература

Artemyeva A.M., Piskunova T.M., Gashkova I.V., Khmelinskaya T.V., Khrapalova I.A., Ageeva T.T. et al. Landraces of vegetables and cucurbits from Kazakhstan into VIR collection as initial material for the breeding. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(3):60-66. [in Russian] (Артемьева А.М., Пискунова Т.М., Гашкова И.В., Хмелинская Т.В., Храпалова И.А., Агеева Т.Т. и др. Местные сорта овощных и бахчевых культур Казахстана в коллекции ВИР как источники для селекции. *Овощи России*. 2018;(3):60-66). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-3-60-66

Dyutin K.E. Methodological guidelines for breeding of cucurbit crops (Metodicheskiye ukazaniya po selektsii bakhchevykh kultur). Moscow; 1979. [in Russian] (Дютин К.Е. Методические указания по селекции бахчевых культур. Москва; 1979).

Dyutin K.E. Methodological guidelines for the breeding of melon for powdery mildew resistance (Metodicheskiye ukazaniya po selektsii dyni na ustoychivost k muchnistoy rose). Moscow; 1980. [in Russian] (Дютин К.Е. Методические указания по селекции дыни на устойчивость к мучнистой росе. Москва; 1980).

Dyutin K.E., Shustova N.I., Sokolov Yu.V. Breeding of watermelon for resistance to powdery mildew (Selektsiya arbuza na ustoychivost k muchnistoy rose. Methodological guidelines). Moscow; 2001. [in Russian] (Дютин К.Е., Шустова Н.И., Соколов Ю.В. Селекция арбуза на устойчивость к мучнистой росе. Методические указания. Москва; 2001).

Eliseeva N.A. Results of studying the collection material of melons. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences.* 2017;2(10):52-60. [in Russian] (Елисеева Н.А. Результаты изучения коллекционного материала дыни. *Таврический вестник аграрной науки*. 2017;2(10):52-60).

Fursa T.B. Breeding of cucurbit crops: guidelines (Selektsiya bakhchevykh kultur: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad; 1988. [in Russian] (Фурса Т.Б. Селекция бахчевых культур: методические указания. Ленинград; 1988).

Koleboshina T.G. New varieties of watermelon, melon and pumpkin for commodity melon production of Russia, their competitiveness in today's market. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015;55:115-119. [in Russian] (Колебошина Т.Г. Новые сорта арбуза, дыни и тыквы для товарного бахчеводства России, их конкурентоспособность в условиях современного рынка. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;55:115-119).

Koleboshina T.G., Varivoda O.P., Egorova G.S., Galichkina E.A. Studying the inheritance of the growing season in hybrids of melons in the conditions of the Volgograd Transvolga. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2018;3(51):69-76. [in Russian] (Колебошина Т.Г., Варивода О.П., Егорова Г.С., Галичкина Е.А. Изучение наследования вегетационного периода у гибридов дыни в условиях Волгоградского Заволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018;3(51):69-76).

Kozlovskaya E.A., Pyshnaya O.N., Mamedov M.I., Dzhos E.A., Matyukina A.A. Selection of parental components of sweet pepper hybrids for steppe and dry steppe. *Vegetable Crops of Russia*. 2019;(1):8-11. [in Russian] (Козловская Е.А., Пышная О.Н., Мамедов М.И. Джос Е.А., Матюкина А.А. Подбор родительских компонентов при создании гибридов перца сладкого для степной и сухостепной зон. *Овощи России*. 2019;(1):8-11). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-1-8-11

Litvinov S.S. Methods of field trials in vegetable growing (Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve). Moscow: Rosselkhozakademiya; 2011. [in Russian] (Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. Москва: Россельхозакадемия; 2011).

Soldatenko A.V., Pyshnaya O.N. The role of vegetable breeding and modern researches in food stability. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(5):5-8. [in Russian] (Солдатенко А.В., Пышная О.Н. Роль селекции овощных культур и современных исследований в продовольственной стабильности. *Овощи России*. 2018;(5):5-8). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-5-8

Varivoda E.A., Koleboshina T.G., Baybakova N.G., Kobkova N.V., Shaposhnikov D.S. Effect of nutrition area on the fruit index in the primary seed production of watermelon. *Vegetable Crops of Russia*. 2018;(5):36-39. [in Russian] (Варивода Е.А., Колебошина Т.Г., Байбакова Н.Г., Кобкова Н.В., Шапошников Д.С. Влияние площадей питания на индекс плода в первичном семеноводстве арбуза. *Овощи России*. 2018;(5):36-39). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-36-39

Varivoda O.P., Varivoda E.A. Breeding for complex resistance to diseases and safety of fresh melon crops produce. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015;55:24-28. [in Russian] (Варивода О.П., Варивода Е.А. Селекция на комплексную устойчивость к болезням и безопасность свежей продукции бахчевых культур. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;55:24-28).

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

Варивода Е.А., Колебошина Т.Г., Корнилова М.С. Коллекционные образцы – определяющий фактор получения новых сортов дыни. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):23-27. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-23-27

Varivoda E.A., Koleboshina T.G., Kornilova M.S. Collection accessions and source material as a determining factor for producing new melon cultivars. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):23-27. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-23-27

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/10.30901/2227-8834-2020-2-23-27

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Varivoda E.A. https://orcid.org/0000-0001-5580-4813
Koleboshina T.G. https://orcid.org/0000-0003-1700-3446
Kornilova M.S. https://orcid.org/0000-0003-2030-7838

Ранжирование коллекции кукурузы (*Zea mays* L.) ВИР по селекционно ценным признакам в агроклиматических условиях Республики Беларусь

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-28-34
УДК 633.15; 58.087; 58.01/.07
Поступление/Received: 13.01.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

Е. М. ГОВОР [1], Э. Б. ХАТЕФОВ [2]*

[1] Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Полесский институт растениеводства», 247781 Беларусь, Гомельская обл., Мозырский р-н, пос. Криничный, ул. Школьная, 2
mzpolfl@mail.gomel.by

[2] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
** haed1967@rambler.ru*

Ranking the VIR collection of maize (*Zea mays* L.) according to the traits valuable for breeding in the soil and climate environments of the Republic of Belarus

YE. M. GOVOR[1], E. B. KHATEFOV[2]*

[1] Palessky Institute of Plant Growing, 2 Shkolnaya St., Krinichny, Mozyr District, Gomel Province 247781, Belarus
mzpolfl@mail.gomel.by

[2] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
** haed1967@rambler.ru.*

Актуальность. Изучение коллекции кукурузы ВИР требует всесторонней оценки всех ее селекционно ценных признаков. Почвенно-климатические условия Гомельской области Республики Беларусь характеризуются недостаточными количеством осадков и суммой активных температур в период начальных этапов органогенеза растений кукурузы, поэтому при подборе исходного материала важно учитывать эти специфические особенности климата. **Материалы и методы.** Фенотипировано 67 образцов коллекции кукурузы ВИР 1975–1980 гг. репродукции методом полевой оценки деляночных опытов по основным хозяйственно ценным признакам. Опыты заложены в 2016–2017 гг. в двукратной повторности. **Результаты.** Анализ по продолжительности периода «всходы – цветение початка» позволил выделить 61% образцов, которые отнесены к ранней и средней группе спелости; по устойчивости к основным вредителям и болезням кукурузы выделены 55% образцов, повреждающихся в сильной степени кукурузным мотыльком *Ostrinia nubilalis* Hbn., 45% – в слабой и средней степени; 7,5% образцов, сильно пораженных пузырчатой головней *Ustilago maydis* (DC.) Corda, и 67% не поврежденных. Выделены линии (ЮВ24, СМ7, TF907, Fc1554) с низкой уборочной влажностью зерна (до 20%) и линии (TF907, TF903, TF901, СМ25, ЮВ24) с высоким выходом зерна с початка (80%), а также линии (P346, Fc1554, Q184, TF903, F676), склонные к многопочатковости. **Заключение.** Результаты исследований показали эффективность оценки селекционно ценных признаков коллекции кукурузы ВИР на недостаток влаги и тепла, характерный для юга Беларуси, с целью их вовлечения в процесс гибридной селекции.

Ключевые слова: селекция гибридов, фенотипирование кукурузы, холодостойкость, раннеспелость, продуктивность, урожай зерна, *Ostrinia nubilalis*, *Ustilago maydis*.

Background. Studying the maize collection held by VIR requires a comprehensive assessment of all its traits of breeding value. The soil and climate conditions in Gomel Province, Republic of Belarus, are characterized by insufficient levels of rainfall and total active temperatures during the initial stages of organogenesis in maize plants, therefore it is important to take into account these specific climate features when selecting the source material for breeding. **Materials and methods.** Sixty-seven maize accessions from the VIR collection (reproductions of 1975–1980) were phenotyped according to major traits of breeding value. The experiments were performed in 2016 and 2017 in two replications. **Results.** Analyzing the duration of the period from emergence to cob flowering helped to identify 61% of the accessions that were classified into early- and mid-ripening groups; 55% that were severely damaged by *Ostrinia nubilalis* Hbn., and 45% showing weak and medium damage; 7.5% severely affected by *Ustilago maydis* (DC.) Corda, and 67% without damage. Maize lines were identified (YuV24, CM7, TF907, Fc1554) with low harvesting moisture content in grain (up to 20%), lines (TF907, TF903, TF901, CM25, YuV24) with high grain yield per cob (80%), and lines (P346, Fc1554, Q184, TF903, F676) prone to the formation of two ears. **Conclusion.** The research results proved the efficiency of the assessment of maize accessions from VIR for traits of breeding value in the water- and heat-deficient environments of Belarus in order to use them as source material in hybrid breeding.

Key words: hybrid breeding, phenotyping of maize, traits of breeding value, cold tolerance, earliness, productivity, grain yield, *Ostrinia nubilalis*, *Ustilago maydis*.

Введение

Кукуруза в настоящее время стала главной кормовой культурой Беларуси, заняв первое место по площади посева среди выращиваемых культур – на уровне 1 млн га. По данным Минсельхозпрода, к октябрю 2019 г. в Беларуси намолочено 827,4 тыс. т зерна кукурузы (Sykorsky, 2019). Производство зеленой массы в последние годы достигло 17–18 млн тонн, что в пересчете на кормовые единицы составляет около половины от всего объема производства травянистых кормов. Средняя продуктивность 1 га кукурузного поля превышает 7 тыс. кормовых единиц. Относительно других полевых культур кукуруза – самая урожайная кормовая культура. В то же время результаты научных исследований и практический опыт указывают на возможность повышения продуктивности этой культуры в республике до 8–9 тыс. к.ед./га в ближайшие годы и более 10 тыс./га в перспективе (Shimansky et al., 2017).

Селекционная и семеноводческая работа по кукурузе начата в Беларуси сравнительно недавно. Однако за относительно короткий период времени были получены определенные достижения: в Госкомиссии по сортоиспытанию на данный момент находятся 10 гибридов кукурузы отечественной селекции и около 20 гибридов совместной селекции. Следует отметить, что отечественные гибриды по потенциальной продуктивности не уступают зарубежным аналогам, что подтверждается данными Госкомиссии по сортоиспытанию (State Register..., 2019). С развитием селекционных работ необходимо углубление исследований по созданию гибридов с ФАО от 180 до 240 целевого направления (силосного, пищевого, фуражного, крахмального), с повышенной холодостойкостью и интенсивностью роста, устойчивостью к основным болезням и вредителям кукурузы, которая требует поиска новых источников и доноров с широким генетическим полиморфизмом (Khatefov, Matveeva, 2018; Luzinsky et al., 2019).

В Полесском институте растениеводства с 1995 г. поддерживается рабочая коллекция линий кукурузы, которая представлена образцами селекции зарубежных селекцентров и компаний, а также селекции Полесского института растениеводства. Большинство зарубежного материала коллекции поступило из Молдавского НИИ кукурузы и сорго, Института кукурузы «Земун Поле» (Югославия), Кубанской опытной станции ВИР (Россия), Института зернового хозяйства (Украина). Часть линий получена из Словакии и Германии от селекционеров, испытывающих гибриды кукурузы в условиях Беларуси. Интродуцированные образцы представлены небольшим диапазоном по происхождению, консистенции зерна, вегетационному периоду. Поэтому поиск новых источников и доноров селекционно ценных признаков для гибридной селекции кукурузы остается актуальным для южных зон Беларуси. Проведение всесторонней полевой оценки коллекции кукурузы в агроклиматических условиях недостаточного увлажнения и сумм активных температур – очень важный этап селекционных работ, который позволяет селекционеру проводить эффективный отбор исходного материала, адаптированного к климату Беларуси. Решение проблемы расширения генетического полиморфизма исходного материала для создания раннеспелых и среднеспелых гибридов кукурузы будет способствовать устойчивому росту валовых сборов зерна кукурузы в Республике Беларусь.

Целью наших исследований являлся поиск новых источников полиморфизма исходного материала для гибридной селекции кукурузы на основе результатов оценки их устойчивости к неблагоприятным агроклиматическим условиям Республики Беларусь.

Материалы и методы исследований

Изучение образцов кукурузы из коллекции ВИР проводили на опытных полях РНДУП «Полесский институт растениеводства» Республики Беларусь. Посев коллекционного питомника проводился 29 апреля при достижении физиологической спелости почвы. Семена высевались вручную широкорядным способом (70 × 35 см) по 2 растения в лунке, густота стояния растений к уборке в перерасчете на 1 га составила 82 тыс./га. Учетная площадь делянки коллекционных образцов – 4,9 м^2, повторность двукратная (первое повторение для изучения, второе – для размножения). Расположение делянок систематическое, без смещения во втором повторении.

Селекционный участок расположен на дерново-подзолистых связно-супесчаных почвах со значением pH (KCl) – 5,7 и содержанием P_2O_5 – 442 мг, K_2O – 284 мг, Ca – 987 мг, Mg – 169 мг на 1000 г почвы, гумуса – 2,71%. Предшественником на участке была кукуруза. Размножение образцов коллекции проводили путем самоопыления (инцухт) с изолированием мужских и женских соцветий с 20 июля по 17 августа. Уборка початков – 16 октября. Температурный и водный режим вегетационного периода 2017 г. в целом можно охарактеризовать как недостаточно благоприятный для роста и развития растений кукурузы, особенно в первой половине вегетации (табл. 1).

Сумма эффективных температур с мая по сентябрь составила 1080,8°C, что на 13,8% меньше, чем в 2016 г. (1254,0°C). Сумма осадков за этот период – 343,2 мм, в 2016 г. – 318,3 мм. За период проведения исследований агроклиматические условия роста и развития посевов соответствовали требованиям агротехники и физиологии растений кукурузы и способствовали проявлению всех фенотипических признаков и формированию полноценного урожая зерна.

Изучение и фенологические наблюдения коллекции кукурузы проводили по методике ВИР (Shmaraev, 1985), агротехнические мероприятия – по методическим указаниям по производству гибридных семян кукурузы (Sotchenko et al., 2019). Изучение биометрических показателей и их описания даны согласно Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L. (Kukekov, 1977).

Результаты и их обсуждение

В целом первая половина вегетационного периода 2017 г. оказалась недостаточно благоприятной для роста и развития растений кукурузы, что создало благоприятный фон для оценки на лимитирующие факторы агроклиматических условий среды. При относительно хорошей влагообеспеченности за период май – июль ограничивающим фактором выступила пониженная температура воздуха и, как следствие, недостаточная сумма эффективных температур. Так, например, в Мозырском районе за период май – первая декада июля она составила 413,1°C, что на 2,4% ниже среднемноголетнего показателя (423,4°C).

Таблица 1. **Метеорологические условия Мозырского района (по данным гидрометеостанции Мозырь), Республика Беларусь, 2017 г.**

Table 1. **Meteorological conditions in Mozyr District (according to the data of Mozyr Weather Station), Republic of Belarus, 2017**

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С			Количество осадков, мм			Относительная влажность воздуха, %
		средняя многолетняя	среднее за декаду	отклонение от нормы	средняя многолетняя	среднее за декаду	в % от нормы	
Май	I	12,5	11,0	–1,5	16,0	22,0	137,5	67
	II	14,0	12,6	–1,4	19,0	2,4	12,6	50
	III	15,4	17,1	1,7	20,0	54,0	270,0	67
	среднее	14,0	13,6	0,4			142,5	61
	сумма				55,0	78,4		
Июнь	I	16,5	15,9	–0,6	21,0	1,1	5,2	61
	II	17,2	18,0	0,8	23,0	11,0	47,8	64
	III	17,8	19,5	1,7	26,0	21,0	80,8	66
	среднее	17,2	17,8	0,6			47,3	64
	сумма				70,0	33,1		
Июль	I	18,4	16,0	–2,4	30,0	24,0	80,0	74
	II	18,9	18,1	–0,8	32,0	20,0	62,5	71
	III	19,0	20,7	1,7	31,0	86,0	277,4	72
	среднее	18,8	18,3	–0,5			139,8	72
	сумма				93,0	130,0		
Август	I	18,5	22,6	4,1	29,0	12,0	41,4	67
	II	17,6	24,4	6,8	24,0	0	0	58
	III	16,4	15,0	–1,4	21,0	59,0	280,9	79
	среднее	17,5	20,7	3,2			95,9	68
	сумма				74,0	71,0		
Сентябрь	I	15,0	15,3	0,3	19,0	24,0	126,3	80
	II	13,1	16,9	3,8	17,0	2,9	17,1	69
	III	10,4	12,7	2,7	16,0	3,8	23,8	68
	среднее	12,8	15,0	2,2			59,0	72
	сумма				52,0	30,7		

Пониженные среднесуточные температуры воздуха, большие перепады дневных и ночных температур привели к значительному удлинению периода «посев – всходы»: в среднем, в зависимости от сроков сева, он составил 23–28 дней (полные всходы отмечены 17–20 мая), что оказало отрицательное влияние на полевую всхожесть и их полноту. Недостаток суммы эффективных температур в период «всходы – интенсивный рост стебля» (10–12 листьев) привел к снижению линейного роста растений кукурузы, особенно на поздних формах, требующих более высокой температуры для роста и развития по сравнению с формами из более ранних групп спелости. Продолжительность межфазного периода «всходы – выметывание» в 2016 г. наступила у гибридов среднеранней группы спелости 25–29 июня, в 2017 г. – 15–20 июля. Следует отметить отсутствие влияния почвенной и воздушной засухи на растения кукурузы в начале критического периода по водопотреблению (2 недели до выме-

тывания), что привело к хорошей степени опыляемости и низкому проценту череззерницы. Недостаток суммы эффективных температур в первой половине вегетации не был компенсирован высокими положительными температурами в июле – августе, что привело к удлинению фаз развития растений кукурузы в среднем на 14–15 дней по сравнению со среднемноголетними показателями и в конечном итоге к сдвигу сроков уборки осенью в связи с высокой уборочной влажностью зерна.

Учет полевой всхожести показал существенные различия по данному показателю у самоопыленных линий кукурузы и позволил классифицировать коллекции второго – четвертого годов изучения на группы в зависимости от полевой всхожести (табл. 2).

Таблица 2. Ранжирование коллекционных образцов
(Мозырский район Республики Беларусь; 2016–2017 гг.)

Table 2. Ranking maize accessions according to their field germination
(Mozyr District, Belarus; 2016–2017)

Ранжирование на группы	Число образцов	Название образца
1	2	3
Полевая всхожесть, %		
ПВ 91–100	3	P346, A639, Q206
ПВ 81–90	3	ИК206-2, TF9010, Fc1554
ПВ 71–80	4	Co151, TF904, F674, ХЛГ294
ПВ 61–70	4	CM174, TF9012, Co223, ХЛГ309
ПВ 51–60	3	FS15/20, F676, OS426
ПВ < 50	4	F2, 116, 503/88, TF907
Высота растений, см		
Низкие (115–140)	7	A344, P376, F2, Fb124, TF902, TF904, T66
Средние (141–175)	6	CM25, CO15, TF1901, TF905, CO220, ХЛГ310
Высокие > 175	7	ИК1718-2, Oh07, L649, W182R, Q184, Fc114, CM562-46
Продолжительность периода «всходы – цветение початка», дни		
Ранние, 55–65	13	CM7, Q206, 9478, P346, CM174, Fb124, TF902, TF903, TF904, TF909, TF9010, L649, ХЛГ310
Средние, 66–70	11	CM25, CO15, Tva308-1, FS15/20, Fc114,TF901, TF9012, CO223, ХЛГ288, ХЛГ289, ХЛГ290
Поздние, 71–75	10	A 639, Q184, 503/88,TF905, F676, WF9, A344, A73, ИК206-2, OS426
Длина початка, см		
короткий (< 10)	6	116, TF903, TF904, TF9010, W69, ХЛГ288
средний (10–13)	4	A344, CM174, Co151, FC114
длинный (> 14)	4	ХЛГ290, F676, Oh07,Co223
Диаметр початка, см		
тонкий (< 3)	4	CM7, 116, TF907, F674
средний (3–4)	5	A344, ЮВ24, Fc1554, Q184,503/88
толстый (> 4)	5	Од 26, ХЛГ309, Co223,W182k, TF905
Число рядов зерен на початке, шт.		
мало (< 12)	4	CM7, Q206, TF901, L649
средне (12–14)	4	OS426, ХЛГ286, Од26, A344
много (> 14)	4	WF9, F676, W182k, Co223

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Ранжирование на группы	Число образцов	Название образца
1	2	3
Масса тысячи зерен, г		
< 150	1	9478
151–200	7	ХЛГ297, TF907, W182r, Co223, CM7, ХЛГ290, Fc 114
201–250	8	ХЛГ294, ХЛГ310, PL911, TF905, A639, F2, Q 184, TF 901
251–300	7	Co220, ИК206-2, Од26, TF9012, TF908, P346, ЮВ24
> 300	5	T66, Oh07, ND256, ХЛГ308, ХЛГ309
Вес початков с делянки, ц/га		
Низкая < 60	4	CM174, Fb124, LP911, ХЛГ289, ХЛГ292
Средняя 60–90	5	P346, A639, Q206,TF9010,ХЛГ288,
Высокая > 90	6	ИК206-2, ХЛГ308, Oh07, L649, CM25, Q184
Вес зерна с делянки, ц/га		
Низкая < 40	6	WF9, F2, CM174, LP911, ХЛГ286, ХЛГ292
Средняя 40–60	4	W182k, TF9010,P346, ХЛГ288
Высокая > 60	3	ИК206-2, L649, Q184
Уборочная влажность зерна, %		
Низкая < 20	4	ЮВ24, CM7, TF907, Fc1554
Средняя 20–30	6	A344,TF908, 116, CM25, ХЛГ308, ХЛГ294
Высокая > 30	5	ИК206-2, A73,WF9, A639, F676

Анализ полученных результатов указал на недостаточно высокий показатель полевой всхожести у самоопыленных линий. Полевую всхожесть на уровне 90–100% имели только 5%, ниже 50% имело 25% коллекционных образцов. Максимальную полевую всхожесть (95%) показали линии P346, A639, Q206, а минимальную (10%) – линия TF907. В среднем по коллекционному питомнику полевая всхожесть составила 65%.

Исследования позволили выявить широкий полиморфизм между коллекционными образцами по признаку «высота растений» (см. табл. 2). У 53% коллекционных образцов высота растений составила 115–140 см; они были отнесены к среднерослым, тогда как высокорослые растения составляли 25% от всех образцов, а низкорослые – 18%.

Продолжительность вегетационного периода для кукурузосеющих районов Беларуси – один из важных показателей ее применимости в гибридной селекции. Селекционную ценность для агроклиматических условий Беларуси имеют раннеспелые и среднеранние генотипы. По длине периода «всходы – цветение початка» коллекционные образцы распределены на три группы (см. табл. 2).

Анализ продолжительности периода «всходы – цветение початка» показал, что 61% изучаемых коллекционных образцов относится к ранней и средней группе (см. табл. 2), что позволяет вовлечь эти образцы в селекционный процесс и получать в условиях Беларуси вызревший и полноценный семенной материал. К поздней группе были отнесены в основном образцы американского происхождения (США, Канада), которые, возможно, могут служить донорами других селекционно ценных признаков.

Важным признаком для гибридной селекции кукурузы является признак «число початков на стебле». Пенетрантность и экспрессивность фенотипического проявления этого признака зависит от сочетания благоприятных почвенно-климатических условий и генотипа образца. Анализ изученных образцов кукурузы позволил выделить четыре образца как однопочатковые генотипы (A344, CM174, TF902) и пять образцов, показавших склонность к многопочатковости (P346, Fc1554, Q184, TF903, F676). Результаты биометрических измерений количественных признаков початка позволили распределить все образцы на различные группы по выраженности признака (см. табл. 2).

Проведенные исследования позволили выделить образцы, контрастно различающиеся по ценным селекционным признакам. По результатам оценки выделены образцы с многорядным початком, с высокой массой 1000 зерен, длинным початком, которые могут служить ценным исходным материалом для гибридизации кукурузы в селекционных программах Республики Беларусь.

Продуктивность растений и ее значение в среднем с делянки является одним из важных селекционных признаков, определяющим потенциал продуктивности образца. Проведенная оценка коллекционных образцов по продуктивности позволило разделить коллекцию на образцов на естественном фоне по устойчивости к пузырчатой головне и стеблевому кукурузному мотыльку показали, что образцы характеризуются дифференцированной устойчивостью к основным вредителям и болезням кукурузы (табл. 3).

Таблица 3. Ранжирование коллекционных образцов по устойчивости к пузырчатой головне (*Ustilago maydis*) и стеблевому кукурузному мотыльку (*Ostrinia nubilalis*)
(Мозырский район Республики Беларусь; 2016–2017 гг.)

Table 3. Ranking maize accession according to their resistance to corn smut (*Ustilago maydis*) and corn borer (*Ostrinia nubilalis*) (Mozyr District, Belarus; 2016–2017)

Группа устойчивости	Стеблевой кукурузный мотылек		Пузырчатая головня	
	Число образцов	Название образца	Число образцов	Название образца
Не поражаются – 0 баллов	0	–	3	Fb 124, Co 220, TF 907
Слабо поражаются – 1–3 балла	2	К 346, Co 220	4	WF 9, FS15/20, L639, ХЛГ 292
Средне поражаются – 4–5 баллов	2	СМ 25, TF 903	4	ХЛГ308, Q184, F2, A344
Сильно поражаются – 6–7 баллов	3	F2, TF902, F674	4	ХЛГ309, OS 426, A 639, ЮВ 24

три группы (низкая, средняя, высокая) по весу початков и урожаю зерна с делянки, а также по уборочной влажности зерна (см. табл. 2). Анализ результатов показал, что 43% образцов имели средний уровень урожайности зерна, в пределах 40–60 ц/га, при средней урожайность зерна 44,3 ц/га и выходе зерна с початка 74,1% в среднем по питомнику. Высокую урожайность показало 15% образцов (ИК206-2, L649, Q184).

Учет значения уборочной влажности зерна показал, что этот признак имеет широкий размах варьирования, что в среднем по питомнику составило 26,6% (см. табл. 2). При этом 65% образцов имели средний уровень уборочной влажности (20–30%), 12% образцов характеризовались низкой уборочной влажностью, не превышавшей 20% (ЮВ24, СМ7, TF907, Fc1554). Также были выделены формы с высоким выходом зерна с початка, от 80% и более, у 5 образцов (TF907, TF903, TF901, СМ 25, ЮВ 24).

Характерные для климата Беларуси низкие температуры на начальных этапах органогенеза растений способствуют заражению возбудителями грибных болезней кукурузы, в частности пузырчатой головней – *Ustilago maydis* (CD.) Corda (syn. *Ustilago zeae* (Beckm.) Ung. Пораженные проростки замедляют рост и не дают потенциальной урожайности зерна. В первой половине лета наблюдается также интенсивная яйцекладка хлопковой совки (*Chloridea armigera* Hübner) и кукурузного стеблевого мотылька (*Ostrinia nubilalis* Hbn.), что накладывает дополнительную стрессовую нагрузку для адаптации на растения кукурузы. Проведенные исследования коллекционных

Анализ полученных результатов показал, что в исследованных на естественном фоне линиях кукурузы отсутствуют образцы, устойчивые к стеблевому кукурузному мотыльку. Кукурузным мотыльком повреждались в сильной степени 55% образцов, а остальные 45% – в слабой и средней степени. На естественном инфекционном фоне, сформировавшемся в условиях холодной и засушливой весны, образцы коллекции кукурузы на 7,5% были поражены пузырчатой головней, тогда как у 67% каких-либо признаков этой болезни не выявлено.

В Республике Беларусь продолжается целенаправленная работа по поиску и вовлечению генофонда кукурузы ВИР в селекционный процесс. С целью пополнения и улучшения исходного материала для гибридной селекции кукурузы были выделены как особо ценные линии TF903, TF904, TF905, Co220, Co223, F676, TF9012, W182R.

Заключение

Скрининг коллекции кукурузы ВИР в условиях недостаточной тепло- и влагообеспеченности агроклиматических условий Гомельской области Беларуси, сложившихся в 2017 г., позволил выделить ценный исходный материал для гибридной селекции. Были выделены линии TF903, TF904, TF905, Co220, Co223, F676, TF9012, W182R, показавшие максимальную продуктивность, приспособленность и устойчивость к агроклиматическим стрессорам, представляющие селекционную значимость для улучшения генофонда кукурузы Республики Беларусь.

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 Groat Crops at VIR for the Development of an Optimized Genebank and Its Sustainable Utilization in Plant Breeding and Crop Production".

References/Литература

Khatefov E.B., Matveeva G.V. Evaluation of maize accessions for cold resistance: (Methodological guidelines). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Матвеева Г.В. Оценка образцов кукурузы на устойчивость к холоду: (методические указания). Санкт-Петербург: ВИР; 2018).

Kukekov V.G. (comp.) Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. *Zea mays* L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. / сост.: В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).

Luzhinsky D.V., Volodkin D.N., Nadtochaev N.F., Bogdanov A.Z. Plant stand density is an important factor in the formation of high-yielding maize agrocenoses (Gustota stoyaniya rasteniy kukuruzy – vazhny faktor formirovaniya vysokoproduktivnykh agrotsenozov kukuruzy). *Zemledeliye i zashchita rasteniy = Agriculture and Plant Protection*. 2019;2(123):7-14. [in Russian] (Лужинский Д.В., Володькин Д.Н., Надточаев Н.Ф., Богданов А.З. Густота стояния растений кукурузы – важный фактор формирования высокопродуктивных агроценозов кукурузы. *Земледелие и защита растений*. 2019;2(123):7-14).

Shimansky L.P., Kravtsov V.I. New Belarusian maize hybrids are a sure step northwards (Novye belorusskiye gibridy kukuruzy – uverenny shag na sever). *Kukuruza: optimizatsiya vozdelyvaniya v Belarusi = Corn: Optimization of Cultivation in Belarus*. 2017;2(Suppl):41-44. [in Russian] (Шиманский Л.П., Кравцов В.И. Новые белорусские гибриды кукурузы – уверенный шаг на север. *Кукуруза: оптимизация возделывания в Беларуси*. 2017;2(приложение.):41-44).

Shmaraev G.E. (ed.) Studying and maintenance of maize collection accessions: Guidelines (Izucheniye i podderzhaniye obraztsov kollektsii kukuruzy: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: методические указания / под ред. проф. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1985).

Sikorsky V. Grain balance of Belarus (Zernovoy balans Belarusi). 2019. [in Russian] (Сикорский В. Зерновой баланс Беларуси. 2019. URL: http://www.belmarket.by/zernovoy-balans-belarusi [дата обращения: 22.10.2019].

Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Bagrinceva V.N., Sotchenko E.F., Lavrenchuk N.F., Suprunov A.I., Malakanova V.P., Jukov N.I., Smirnova L.A. Guidelines for production of hybrid seeds of maize (Metodicheskiye ukazaniya po proizvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy). Pyatigorsk; 2019. [in Russian] (Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф., Лавренчук Н.Ф., Супрунов А.И., Малаканова В.П., Жуков Н.И., Смирнова Л.А. Методические указания по производству гибридных семян кукурузы. Пятигорск; 2019).

State Register of Varieties (Gosudarstvenny reyestr sortov). Minsk; 2019. [in Russian] (Государственный реестр сортов. Минск; 2019). URL: http://sorttest.by/gosudarstvennyy_reyestr_2019.pdf [дата обращения: 12.02.2020].

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

Говор Е.М., Хатефов Э.Б. Ранжирование коллекции кукурузы (*Zea mays* L.) ВИР по селекционно ценным признакам в агроклиматических условиях Республики Беларусь. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):28-34. DOI:10.30901/2227-8834-2020-2-28-34

Govor Ye.M., Khatefov E.B. Ranking the VIR collection of maize (*Zea mays* L.) according to the traits valuable for breeding in the soil and climate environments of the Republic of Belarus. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):28-34. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-28-34

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/10.30901/2227-8834-2020-2-28-34

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Khatefov E.B. https://orcid.org/0000-0001-5713-2328

Селекционная оценка сорта красной смородины ‘Подарок победителям’ и его инбредного потомства

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-35-41
УДК 634.722:631.527
Поступление/Received: 07.02.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

CC BY

Plant breeding evaluation of the red currant cultivar ‘Podarok Pobeditelyam’ and its inbred progeny

О. Д. ГОЛЯЕВА*, О. В. ПАНФИЛОВА, О. В. КАЛИНИНА

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,
302530 Россия, Орловская обл., Орловский р-н, д. Жилина, 1
** golyaeva@vniispk.ru*

O. D. GOLYAEVA*, O. V. PANFILOVA, O. V. KALININA

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding,
1 Zhilina, Orlovsky District,
Orel Province 302530, Russia
** golyaeva@vniispk.ru*

Актуальность. Инбридинг применяют в качестве метода создания исходного материала для селекции на гетерозис и для изучения наследования хозяйственно ценных признаков. В работе с красной смородиной инбридинг применялся мало, поэтому изучение возможности использования близкородственных скрещиваний в селекции этой культуры остается актуальным. Цель данных исследований – оценка селекционного потенциала сорта красной смородины ‘Подарок победителям’ по проявлению хозяйственно-биологических признаков в инбредном потомстве. **Материалы и методы.** Исследования проводились на селекционном участке красной смородины ВНИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК, г. Орел) в 2016–2018 гг. В качестве объектов изучения были взяты сеянцы от самоопыления нового сорта красной смородины ‘Подарок победителям’. Учеты и наблюдения проводились согласно программе и методике по селекции и сортоизучению плодовых, ягодных и орехоплодных культур. **Результаты и выводы.** В инбредном потомстве сорта ‘Подарок победителям’ доля длиннокистных сеянцев (кисть > 10 см) составила 21,8%, выщепление крупноплодных сеянцев (масса ягоды более 0,65 г) наблюдалось на уровне 17%, максимальная степень трансгрессии (Tc_{max}) составила 42%, а частота встречаемости трансгрессивных сеянцев – 37%. В результате анализа потомства установлено, что сорт ‘Подарок победителям’ является гомозиготой по доминантному гену *Rc*, контролирующему красную окраску ягод, и проявляет донорские свойства по признаку «сухой отрыв ягод». Проведенное изучение потомства от самоопыления сорта ‘Подарок победителям’ не выявило инбредной депрессии у сеянцев первого поколения от близкородственных скрещиваний по состоянию и продуктивности растений. Выделенные сеянцы представляют интерес для дальнейшего сортоизучения и использования в селекции как новый исходный материал.

Ключевые слова: близкородственные скрещивания, сеянцы, донор, плодоношение, длиннокистность, крупноплодность, устойчивость к болезням.

Background. Inbreeding, as a way to produce progenies from organisms in different degrees of kinship, is an important genetic and breeding technique used to improve various crops, including fruit and berry plants. Inbreeding has not been extensively used with red currant, so a study of the possibility to employ closely related crosses in breeding practice with this crop remains relevant. The purpose of this study was to assess the breeding potential of the red currant cultivar ‘Podarok Pobeditelyam’ by disclosing economic and biological characteristics in its inbred progeny. **Methods and materials**. The research was carried out at the red currant breeding site of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK, Orel) in 2016–2018. The seedlings obtained from the self-pollination of a new red currant cultivar, ‘Podarok Pobeditelyam’, were the objects of the study. Records and observations were carried out according to the program and methodology for breeding and variety studies of fruit, berry and nut crops. **Results and conclusion**. The percentage of long-cluster seedlings (cluster length > 10 cm) in the inbred progeny of cv. ‘Podarok Pobeditelyam’ was 21.8%; segregation of large-fruited seedlings (berry weight > 0.65 g) was observed at the level of 17%; the maximum degree of transgression (Ts_{max}) was 42%; and the incidence of transgressive seedlings was 37%. The analysis of the progeny showed that cv. ‘Podarok Pobeditelyam’ is a homozygote for the dominant *Rc* gene that controls the red color of the berries, and displays donor properties for the trait “dry detachment of berries”. The study of the cultivar’s self-pollinated progeny did not reveal any inbreeding depression in F_1 seedlings from closely related crosses as far as plant condition or productivity is concerned. The selected seedlings are of interest for further variety research and use in breeding practice as new source material.

Key words: closely related crosses, seedlings, donor, fruiting, long clusters, large fruit, disease resistance.

Введение

Красная смородина – ценная ягодная культура, широко распространенная в любительском садоводстве РФ. В последнее время возрастает интерес к ней со стороны фермеров и крупных производителей. Для возрождения промышленной культуры красной смородины необходимы высокотоварные (длиннокистные и крупноплодные) сорта для рынка свежей продукции и сорта, пригодные к механизированному съему урожая, для перерабатывающей промышленности.

Основным методом создания сортов смородины являются межсортовые скрещивания исходного материала различного генетического происхождения. Для решения некоторых селекционных задач в небольшом объеме использовались полиплоидия, инбридинг, мутагенез.

Инбридинг – скрещивание особей, находящихся в различной степени родства, – является важным генетико-селекционным методом работы. Близкородственные скрещивания в основном применяют в качестве метода создания исходного материала для селекции на гетерозис и для изучения наследования хозяйственно ценных признаков. Инбридинг вызывает увеличение уровня гомозиготности признаков, позволяет добиться усиления проявления желательных свойств и освободиться от нежелательных. Наблюдается повышение фенотипической изменчивости при инбридинге у видов, которые в естественных условиях размножаются аутбредно. Изучение роли инбридинга в селекции черной смородины на устойчивость к основным болезням и вредителям было проведено А. С. Равкиным во Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства (Ravkin, 1987). Селекционер по черной смородине А. И. Астахов (отдел плодоводства ВНИИ люпина) большое внимание уделял исследованиям, направленным на получение гетерозисных форм с использованием инбридинга. Результатом реализации программы стало создание на основе сортолинейных и межлинейных скрещиваний ценных комплексных доноров и сортов черной смородины, обладающих высокой адаптивностью, урожайностью, крупноплодностью, хорошим качеством ягод (Astakhov, 2006, 2007; Kanshina, 2018). В Госреестр уже включены сорта, полученные с использованием данного метода селекции: ‘Голубичка’, ‘Гулливер’, ‘Дар Смольяниновой’, ‘Добрыня’, ‘Литвиновская’, ‘Нара’, ‘Перун’, ‘Севчанка’, ‘Селеченская’, ‘Селеченская 2’ (State Register…, 2019).

Активно ведется работа по изучению различных форм инбридинга (естественной и искусственной автогамии, гейтоногамии, опыления в пределах сорта) в селекции смородины в Мичуринском государственном аграрном университете (Kondrashova, 2007; Shchekochikhina, 2008). В результате многолетних исследований были сделаны выводы, что инбредные формы представляют особый интерес для селекции, так как они могут быть с определенной степенью гомозиготности, и использование их в гибридизации может дать больший гетерозисный эффект, чем скрещивания родительских сортов. Созданные с помощью метода инбридинга сорта черной смородины селекции Мичуринского ГАУ переданы в государственное испытание: ‘Валдайская’, ‘Вузовская’, ‘Дар Валааму’, ‘Мичуринская сладкая’.

В результате многолетних исследований выявлено усиление степени самоплодности в инбредном потомстве, что показывает перспективность данного метода в селекции. Было установлено, что близкородственные скрещивания эффективны в селекции на высокую С-витаминность. Самоопыление позволяет получать инбредные сеянцы с более высокой устойчивостью к мучнистой росе, антракнозу, септориозу и почковому клещу, чем родительские формы (Astakhov, 2007; Shchekochikhina, 2012; Sazonov, 2014, 2018).

Отрицательной стороной близкородственных скрещиваний является инбредная депрессия, проявляющаяся в снижении жизнеспособности сеянцев. С каждым инбредным поколением усиливается инбредная депрессия, которая может привести к полному отсутствию плодоношения.

От самоопыления получено достаточно большое количество сортов черной смородины и пока известен только один сорт красной смородины – ‘Лидер’ (инбредный сеянец сорта ‘Версальская красная’) (Sorokopudov et al., 2005). Поэтому изучение возможности использования близкородственных скрещиваний в селекции красной смородины остается актуальным.

Цель данного исследования – оценка селекционного потенциала сорта красной смородины ‘Подарок победителям’ по проявлению хозяйственно-биологических признаков в инбредном потомстве.

Материал и методика

Исследования проводились на селекционном участке красной смородины Всероссийского НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК; г. Орел). В качестве объектов изучения были взяты сеянцы от самоопыления нового сорта красной смородины ‘Подарок победителям’, переданного в 2015 г. на госсортоиспытание. В 2012 г. на селекционный участок были высажены сеянцы семьи № 2525 (‘Подарок победителям’, самоопыление I_1) – 43 растения по схеме 0,8 × 2,8 м.

Сорт ‘Подарок победителям’ среднераннего срока созревания, происхождение Чулковская × Minnesota. Оригинатор – ФГБНУ ВНИИСПК, Россия. Характеризуется зимостойкостью цветковых почек, высокой урожайностью – 14–21 т/га, кисти средние и длинные – 9–13 см, в кисти 10 и более ягод. Средняя масса ягоды – 0,5 г, максимальная – 0,8 г. Характеризуется сухим отрывом ягод. Ягоды темно-красные, вкус сладко-кислый, приятный. Кислотность ягод, по данным биохимической лаборатории ВНИИСПК, – 2,66–2,41%, сумма сахаров – 8,32–8,78%, сахарокислотный индекс составляет 3,4 единиц (у контрольного сорта ‘Jonkheer van Tets’ – 3,1 ед.) Сорт характеризуется повышенным содержанием Р-активных веществ – 629 ± 30,7 мг/100 г (у сорта ‘Jonkheer van Tets’ – 492 ± 22,1 мг/100 г).

Сорт проявляет полевую устойчивость к мучнистой росе и листовым пятнистостям. Изучение водного режима листьев показало, что эта форма обладает высоким уровнем засухоустойчивости. Является высокосамоплодным сортом.

Оценка сеянцев осуществлялась на общепринятом для зоны агротехническом фоне с исключением защитных обработок от мучнистой росы и листовых пятнистостей.

Учеты и наблюдения проводились согласно программно-методическим рекомендациям по селекции и сортоизучению ягодных культур (Bayanova, Ilyin, 1995; Knyazev, Bayanova, 1999).

Состояние растений, плодоношение оценивали по 5-балльной шкале. Степень поражения грибными болезнями определяли по шкале, где 0 баллов – поражение отсутствует, 5 баллов – высокая восприимчивость. Для изучения длины кисти сеянцев применяли следующую градацию:

1 – очень короткая (до 5 см);
2 – короткая (6–8 см);
3 – средняя (9–10 см);
4 – длинная (10–12 см);
5 – очень длинная (> 12 см).

Массу ягоды определяли взвешиванием 100 ягод на портативных весах в период созревания:

1 – очень низкая, < 25 г;
2 – низкая, 26–45 г;
3 – средняя, 46–65 г;
4 – высокая, 66–85 г;
5 – очень высокая, > 85 г.

Для количественного учета трансгрессивной изменчивости сеянцев использовались показатели максимальной степени трансгрессии и частота трансгрессии.

Максимальная степень трансгрессии ($Тс_{max}$):

$$Тс_{max} = \frac{П_г \times 100}{П_р} - 100, \text{ где}$$

$П_г$ – максимальное значение признака гибрида;
$П_р$ – максимальное значение признака родителя.

Частота трансгрессии ($Ч_т$):

$$Ч_т = \frac{A}{B} \times 100, \text{ где}$$

А – количество гибридов, превосходящих по признаку лучшую родительскую форму;
В – общее количество изученных гибридов в семье.

Результаты и обсуждение

Наблюдения за сеянцами, полученными от самоопыления сорта красной смородины ‘Подарок победителям’, позволили отметить хорошее развитие инбредных растений. Основная часть сеянцев оценивалась по состоянию на 4–5 баллов, и в 2018 г. в шестилетнем возрасте таких сеянцев было 77,4% (рис. 1).

Сеянцы данной семьи не проявляют скороплодность, на третий год роста плодоношения не было, в 2016 г. – на четвертый год развития не плодоносило 20,8% сеянцев, а основная часть имела слабый урожай (табл. 1). В 2018 г. (6-летний возраст) растения в наибольшей степени реализовали свой потенциал продуктивности: у 67,8% сеянцев плодоношение оценивалось как хорошее и высокое.

Проведенное сравнительное изучение потомства от самоопыления и свободного опыления сорта ‘Подарок победителям’ не выявило инбредной депрессии у сеянцев первого поколения от близкородственных скрещиваний по состоянию, силе роста, продуктивности растений (Golyaeva et al., 2019).

Важным селектируемым признаком для красной смородины является длина кисти. Данный признак является одним из основных компонентов продуктивности для этой культуры, а также характеризует качество продукции при съеме урожая кистями. По многолетним данным, длина кисти сорта ‘Подарок победите-

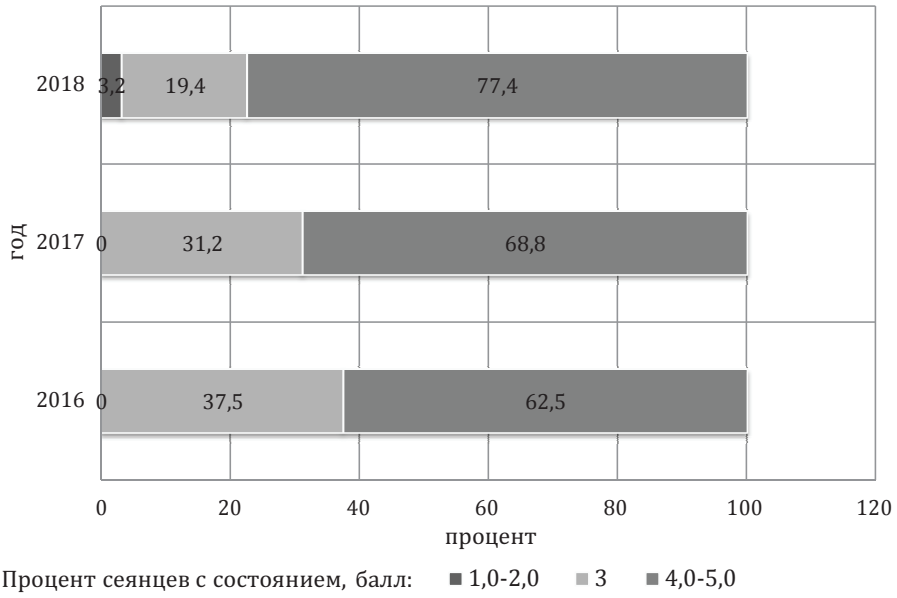


Рис. 1. Группировка сеянцев семьи Подарок победителям I_1 по состоянию растений
(Селекционный участок ВНИИСПК)

Fig. 1. Grouping of seedlings of the family Podarok Pobeditelyam I_1 by plant condition (VNIISPK breeding site)

Таблица 1. Распределение инбредных сеянцев семьи № 2525 по плодоношению
(селекционный участок ВНИИСПК)

Table 1. Distribution of inbred seedlings in family No. 2525 by fruiting (VNIISPK breeding site)

Год / Year	Средний балл по семье / Average score for the family	Процент сеянцев с плодоношением, балл / Percentage of seedlings with fruiting rates, score			
		0	1-2	3	4-5
2016	1,2	20,8	70,8	8,4	0
2017	2,9	3,1	21,9	46,9	28,2
2018	3,6	9,7	6,4	16,1	67,8

лям' варьировала в зависимости от метеоусловий вегетационного периода и возраста растений от 9,0 (средняя) до 13 см (длинная). В инбредном потомстве данного сорта доминируют сеянцы с короткой кистью (рис. 2). Доля длиннокистных сеянцев (кисть >10 см) в среднем за три года наблюдений составила 21,8% (почти 1/4 часть изучаемых сеянцев). Наибольшая длина кисти у инбредных растений отмечалась в 2016 г., максимальная величина составила 15,5 см, что превысило максимальный показатель исходной формы. Максимальная степень трансгрессии (Tc_{max}), показывающая величину превышения (выраженную в %) лучшим сеянцем родительскую форму, оценивает семью по генетическому потенциалу определенного признака. В 2016 г. Tc_{max} по длине кисти в семье № 2525 составила 19,2%, а частота встречаемости трансгрессивных сеянцев – 11,2%.

Масса ягоды является важным компонентом продуктивности сорта и показателем товарности продукции. Исходный сорт 'Подарок победителям' характеризуется средней массой ягоды (табл. 2). В потомстве от самоопыления этого сорта в 2017 г. превалируют мелкоплодные сеянцы, в 2018 г. – со средней массой ягоды. Выщепление крупноплодных сеянцев (масса ягоды более 0,65 г) по годам было приблизительно на одном уровне и составило 17,3–17,9%. Максимальная степень трансгрессии по массе ягоды и частота встречаемости трансгрессивных сеянцев выше, чем по длине кисти; это можно объяснить тем, что данный признак у родительской формы выражен в средней степени. Появление в инбредном потомстве сорта 'Подарок победителям' крупноплодных форм связано с его происхождением, в котором участвовал крупноплодный сорт 'Minnesota'.

В инбредном потомстве сорта 'Подарок победителям' не наблюдается расщепления по окраске ягод, все сеянцы, как и родительская форма, имеют ягоды темно-красного цвета. Это свидетельствует о том, что данный сорт является гомозиготой по доминантному гену *Rc*, контролирующему красную окраску ягод.

Сорт 'Подарок победителям' обладает ценным хозяйственным свойством – сухим отрывом ягод, лимитирующим признаком пригодности красной смородины к меха-

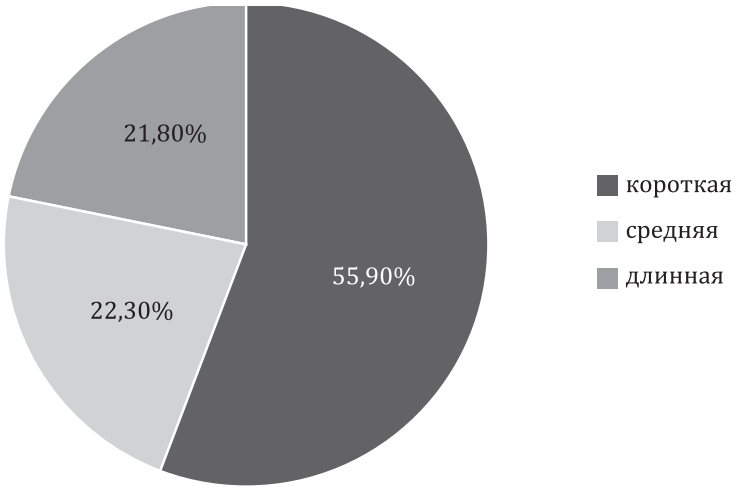


Рис. 2. Распределение сеянцев семьи № 2525 ('Подарок победителям', самоопыление) по длине кисти
(2016–2018 гг.; селекционный участок ВНИИСПК)

Fig. 2. Distribution of seedlings in family № 2525 (cv. 'Podarok Pobeditelyam', self-pollination) by cluster length
(VNIISPK breeding site, 2016–2018)

Таблица 2. Оценка сеянцев от самоопыления сорта Подарок победителям по массе ягоды
(селекционный участок ВНИИСПК)

Table 2. Assessment of seedlings from the self-pollinated progeny of cv. 'Podarok Pobeditelyam' by berry weight
(VNIISPK breeding site)

Год / Year	Процент сеянцев с массой ягод, г / Percentage of seedlings with berry weights, g			Размах изменчивости (min-max), г / Variability range (min–max), g	Масса ягоды родительской формы, г / Berry weight in the parental form, g	Tc_{max}	$Ч_т$
	до 0,45 (мелкие) / up to 0.45 (small)	0,46–0,65 (средние) / 0,46–0,65 (medium)	более 0,65 (крупные) / more than 0.65 (large)				
2017	44,8	37,9	17,3	0,17–0,75	0,54	38,9	38,0
2018	28,5	53,6	17,9	0,28–0,84	0,58	44,8	36,0

Примечание: Tc_{max} – максимальная степень трансгрессии; $Ч_т$ – частота трансгрессии
Note: Tc_{max} – maximum transgression; $Ч_т$ – transgression frequency

низированной уборке урожая. В инбредном потомстве 65,2% сеянцев унаследовали сухой отрыв ягод, следовательно, сорт 'Подарок победителям' является донором данного признака.

Устойчивость к биотическим факторам окружающей среды является одним из основных требований, предъявляемых к сорту. От уровня устойчивости к болезням и вредителям зависит продуктивность сорта и рентабельность его выращивания, экологическая безопасность продукции, снижение пестицидной нагрузки на окружающую среду. Селекция красной смородины на устойчивость к биотическим стрессорам является приоритетным направлением. Существенный вред этой культуре в средней полосе России наносят такие болезни, как мучнистая роса (*Sphaerotheca mors-uvae* Berk. et Curt.), септориоз (*Septoria ribis* Desm.), антракноз (*Pseudopeziza ribis* Kleb.). Родительский сорт 'Подарок победителям' к данным грибным болезням проявляет полевую устойчивость. Из трех лет наблюдений наиболее благоприятные погодные условия для развития мучнистой росы и септориоза сложились в вегетационный период 2018 г., а для антракноза – 2016 г. Как видно из таблицы 3, степень поражения инбредных сеянцев не превысила 3 балла. В потомстве от самоопыления сорта 'Подарок победителям' преобладали сеянцы с высокой полевой устойчивостью (поражение на 0–1 балл): к мучнистой росе – 56,7%, септориозу – 40,0%, антракнозу – 50,0%. Полученные результаты показывают перспективность использования сорта 'Подарок победителям' в селекции на устойчивость к данным болезням.

В результате изучения инбредных сеянцев выделены формы: высокопродуктивные – длиннокистные, высокопродуктивные – крупноплодные, высокопродуктивные – устойчивые к болезням. Наибольший интерес для дальнейшего изучения и использования в селекции представляет отборный сеянец 2525-49$_2$-6, который проявляет комплекс хозяйственно ценных признаков. Данный сеянец характеризуется высокой продуктивностью, длиннокистностью (длина кисти до 14 см), темно-красными крупными ягодами (0,8 г) с сухим отрывом, устойчивостью к мучнистой росе и листовым пятнистостям.

Заключение

Проведенное изучение потомства от самоопыления сорта 'Подарок победителям' не выявило инбредной депрессии у сеянцев первого поколения от близкородственных скрещиваний по состоянию и продуктивности растений.

В инбредном потомстве данного сорта доминируют сеянцы с короткой кистью, однако, доля длиннокистных сеянцев (кисть > 10 см) в среднем за три года наблюдений составила 21,8% (почти 1/4 часть изучаемых сеянцев). Выщепление крупноплодных сеянцев (масса ягоды более 0,65 г) наблюдалось на уровне 17%, максимальная степень трансгрессии (Tc_{max}) составила 42%, а частота встречаемости трансгрессивных сеянцев – 37%.

В результате анализа потомства установлено, что сорт 'Подарок победителям' является гомозиготой по доминантному гену *Rc*, контролирующему красную окраску ягод, и проявляет донорские свойства по признаку «сухой отрыв ягод».

Селекционная оценка инбредного потомства позволяет рекомендовать сорт 'Подарок победителям' в качестве комплексного источника хозяйственно ценных признаков. Выделенные сеянцы представляют интерес для дальнейшего сортоизучения и использования в селекции как новый исходный материал.

Таблица 3. Расщепление инбредных сеянцев сорта 'Подарок победителям' по степени поражения грибными болезнями (селекционный участок ВНИИСПК)

Table 3. Segregation of inbred seedlings from cv. 'Podarok Pobeditelyam' by the degree of fungal disease damage (VNIISPK breeding site)

Название болезни / Disease name	Эпифитотийный год / Epiphytotic year	Средний балл по семье / Average score for the family	Процент сеянцев с поражением, балл / Percentage of injured seedlings, score		
			0-1	2	3
Мучнистая роса *Sphaerotheca mors-uvae* Berk. et Curt.	2018	1,4	56,7	33,3	10,0
Септориоз *Septoria ribis* Desm.	2018	1,8	40,0	36,7	23,3
Антракноз *Pseudopeziza ribis* Kleb.	2016	1,7	50,0	29,2	20,8

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВНИИСПК по теме № 0637-2019-0011 «Выделить новые генотипы (отборные и элитные сеянцы) плодовых и ягодных культур, превышающие районированные сорта по комплексу хозяйственно-ценных признаков».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, No. 0637-2019-0011 "Identifying New Genotypes (Selected and Elite Seedlings) of Fruit and Berry Crops Exceeding the Released Cultivars in a Set of Economically Useful Traits".

References/Литература

Astakhov A.I. Black currant: state and prospects of breeding (Smorodina chernaya – sostoyaniye i perspektivy selektsii). In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops: Collection of Scientific Papers of the I.V. Michurin Research Institute of Horticulture* (*Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika. Sbornik nauchnykh trudov VNII sadovodstva im. I.V. Michurina*). Michurinsk; 2007. p.21-31. [in Russian] (Астахов А.И. Смородина черная – состояние и перспективы селекции. В кн.: *Современное состояние культур смородины и крыжовника. Сборник научных трудов ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина*. Мичуринск; 2007. С.21-31).

Astakhov A.I. Development and utilization of complex donors in black currant breeding (Sozdaniye i ispolzovaniye kompleksnykh donorov v selektsii chernoy smorodiny). In: *Status and Prospects of the Development of Berry Plant Cultivation in Russia. Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference* (*Sostoyaniye i perspektivy razvitiya yagodovodstva v Rossii. Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii*), *June 19–22, 2006, Orel, Russia*. Orel: VNIISPK; 2006. p.20-23. [in Russian] (Астахов А.И. Создание и использование комплексных доноров в селекции черной смородины. В кн.: *Состояние и перспективы развития ягодоводства в России. Материалы Всероссийской научно-методической конференции, 19–22 июня 2006 г., Орел, Россия*. Орел: ВНИИСПК; 2006. С.20-23).

Bayanova L.V., Ilyin V.S. Red currant breeding (Selektsiya krasnoy smorodiny). In: E.N. Sedov (ed.). *Program and methods of fruit, berry and nut crop breeding* (*Programma i metodika selektsii plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur).* Orel: VNIISPK; 1995. p.341-350. [in Russian] (Баянова Л.В., Ильин В.С. Селекция красной смородины. В кн.: *Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 1995. С.341-350).

Golyaeva O.D., Knyazev S.D., Kalinina O.V. Study of breeding value of red currant seedlings from open and self-pollination. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy.* 2019;9:107-112. [in Russian] (Голяева О.Д., Князев С.Д., Калинина О.В. Изучение селекционной ценности сеянцев смородины красной от свободного и самоопыления. *Вестник Курской ГСХА*. 2019;9:107-112).

Kanshina M.V. Genetic resources and innovative methods in black currant breeding. Modern trends of sustainable development of berry plant cultivation in Russia (currant and gooseberry) (Geneticheskiye resursy i innovatsionnye metody v selektsii sortov smorodiny chernoy. Sovremennye tendentsii ustoychivogo razvitiya yagodovodstva Rossii [smorodina, kryzhovnik]). In: *Collection of scientific works dedicated to the 110th birthday of K.D. Sergeeva, Dr. Agric. Sci., Honored Scientist of the RSFSR* (*Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchenny 100-letiyu so dnya rozhdeniya d-ra s.-kh. nauk, zasluzh. deyatelya nauki RSFSR K.D. Sergeyevoy*). Voronezh: Kvarta; 2018: p.98-119. [in Russian] (Каньшина М.В. Генетические ресурсы и инновационные методы в селекции сортов смородины черной. Современные тенденции устойчивого развития ягодоводства России (смородина, крыжовник). В кн.: *Сборник научных трудов, посвященный 110-летию со дня рождения д-ра с.-х. наук, заслуж. деятеля науки РСФСР К.Д. Сергеевой*. Воронеж: Кварта; 2018. С.98-119).

Knyazev S.D., Bayanova L.V. Currants, gooseberries, and their hybrids (Smorodina, kryzhovnik i ikh gibridy). In: E.N. Sedov (ed.). *Program and methods of fruit, berry and nut crop variety studies* (*Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur).* Orel: VNIISPK; 1999. p.351-373. [in Russian] (Князев С.Д., Баянова Л.В. Смородина, крыжовник и их гибриды. В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 1999. С.351-373).

Kondrashova K.V. Development of initial forms and cultivars of black currant with the use of inbreeding (Sozdaniye iskhodnykh form i sortov smorodiny chernoy s ispolzovaniyem inbridinga). In: *Current State of Currant and Gooseberry Crops: Collection of Scientific Papers of the I.V. Michurin Research Institute of Horticulture* (*Sovremennoye sostoyaniye kultur smorodiny i kryzhovnika. Sbornik nauchnykh trudov VNII sadovodstva im. I.V. Michurina*). Michurinsk; 2007. p.106-115. [in Russian] (Кондрашова К.В. Создание исходных форм и сортов смородины черной с использованием инбридинга. В кн.: *Современное состояние культур смородины и крыжовника. Сборник научных трудов ВНИИ садоводства им. И.В. Мичурина*. Мичуринск; 2007. С.106-115).

Ravkin A.S. Black currant (source material, breeding, varieties) (Chernaya smorodina [iskhodny material, selektsia, sorta]). Moscow: Moscow State University; 1987. [in Russian]. (Равкин А.С. Черная смородина (исходный материал, селекция, сорта). Москва: МГУ; 1987).

Sazonov F.F. Black currant breeding in the southwestern part of the Non-Chernozem Zone of Russia (Selektsiya smorodiny chernoy v usloviyakh yugo-zapadnoy chasti Nechernozemnoy zony Rossii). Moscow: VSTISP ; Saratov: Amirit; 2018. [in Russian] (Сазонов Ф.Ф. Селекция смородины черной в условиях юго-западной части Нечерноземной зоны России. Москва: ВСТИСП; Саратов: Амирит; 2018).

Sazonov F.F. Development of adaptable black currant forms by inbreeding (Sozdaniye adaptivnykh form smorodiny chernoy putem inbridinga). *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2014;38(2):80-86. [in Russian] (Сазонов Ф.Ф. Создание адаптивных форм смородины черной путем инбридинга. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2014;38(2):80-86).

Shchekochikhina E.V. Evaluation of black currant forms obtained through inbreeding. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University.* 2012;2:38-41. [in Russian] (Щекочихина Е.В. Оценка форм смородины черной, полученных с применением инбридинга. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2012;2:38-41).

Shekochikhina E.V. Use of inbreeding in black currant breeding (Ispolzovaniye inbridinga v selektsii smorodiny chernoy) [dissertation]. Michurinsk; 2008. [in Russian]. (Щекочихина Е.В. Использование инбридинга в селекции смородины черной: дис. … канд. с.-х. наук. Мичуринск; 2008).

Sorokopudov V.N., Solovieva A.E., Smirnov A.S. Red currant in the forest-steppe of the Ob region (Krasnaya smorodina v lesostepi Priobya). Novosibirsk: Agro-Sibir; 2005. [in Russian] (Сорокопудов В.Н., Соловьева А.Е., Смирнов А.С. Красная смородина в лесостепи Приобья. Новосибирск: Агро-Сибирь; 2005).

State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow; 2019. [in Russian]. (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва; 2019).

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

Голяева О.Д., Панфилова О.В., Калинина О.В. Селекционная оценка сорта красной смородины 'Подарок победителям' и его инбредного потомства. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):35-41. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-35-41

Golyaeva O.D., Panfilova O.V., Kalinina O.V. Plant breeding evaluation of the red currant cultivar 'Podarok Pobeditelyam' and its inbred progeny. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):35-41. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-35-41

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/10.30901/2227-8834-2020-2-35-41

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Golyaeva O.D. https://orcid.org/0000-0003-1106-634X
Panfilova O.V. https://orcid.org/0000-0003-4156-6919
Kalinina O.V. https://orcid.org/0000-0003-1646-9885

Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49
УДК 664.617:633.13:1 925.116
Поступление/Received: 11.02.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

CC BY

Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars

О. А. ЮСОВА [1], П. Н. НИКОЛАЕВ [1], И. В. САФОНОВА [2], Н. И. АНИСЬКОВ [2]

[1] Омский Аграрный научный центр, 644012 Россия, г. Омск, пр. Королева, 26
ksanajusva@rambler.ru, nikolaevpetr@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
i.safonova@vir.nw.ru

O. A. YUSOVA[1], P. N. NIKOLAEV[1] I. V. SAFONOVA[2], N. I. ANISKOV[2]

[1] Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk 644012, Russia
ksanajusva@rambler.ru, nikolaevpetr@mail.ru

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

Актуальность. Среди яровых зерновых овес – это одна из основных зерновых культур Сибири. Цель исследования – определение сопряженности параметров адаптивности сортов овса с урожайностью и основными показателями качества зерна. **Материал и методы.** Исследования проведены с 2011 по 2019 гг. в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Определены содержания белка в зерне, сырого жира, крахмала и пленчатость зерна по Б. В. Плешкову и Н. С. Беркутовой. Математическая обработка проведена по Б. А Доспехову, S. A. Eberhart и W. A. Russell. **Результаты и обсуждение.** Отмечено значительное варьирование урожайности и показателей качества зерна (CV > 20%) у сортов овса, что обусловлено высокой долей вклада условий года (26,7…80,9%), а также сильной прямой (r = 0,607…0,825) либо сильной обратной (r = –0,660…–0,994) сопряженностью с климатическими факторами. С повышением содержания белка в зерне повышались крахмалистость, масличность (r = 0,960…0,962) и пленчатость зерна (r = 0,442). Сорта овса голозерной формы характеризуются повышенным качеством зерна (+4,6% белка, +17,6% крахмала, +2,2% сырого жира) и пониженной урожайностью (–1,45 т/га) по отношению к пленчатым сортам. **Заключение.** Повышение пластичности (bi) и стабильности (σ_d^2) сортов способствовало увеличению урожайности (r_{bi} = 0,943; $r_{\sigma_d^2}$ = 0,344), но снижало показатели качества (r_{bi} = –0,697…–0,812; $r_{\sigma_d^2}$ = –0,270…–0,300). Пленчатость зерна у пластичных сортов снижалась (r_{bi} = –0,201).

Ключевые слова: яровой овес, белок, крахмал, пленчатость, сырой жир, стабильность, пластичность, корреляция.

Background. Among spring cereals, oat is one of the main grain crops in Siberia. The aim of this study was to determine how the parameters of adaptability in oat cultivars are correlated with yield and basic indicators of grain quality. **Material and methods.** The studies were carried out from 2011 to 2019 in the southern forest steppe of Western Siberia. The content of protein, crude fat and starch in grain, and its hull content were measured according to B. V. Pleshkov and N. S. Berkutova. Mathematical processing was performed following the guidelines by B. A. Dospekhov, S. A. Eberhart and W. A. Russell. **Results**. There was a significant variation in grain yield and grain quality (CV > 20%) in oat cultivars due to a high contribution from the conditions of the year (26.7...80.9%) as well as a strong direct (r = 0,607...0.825) or strong reverse (r = –0.660...–0.994) conjugation with climatic factors. As the protein content in grain increased, starch, oil (r = 0.960...0.962) and hull content (r = 0.442) increased as well. Naked oat cultivars manifested higher grain quality (4.6% protein, 17.6% starch, and 2.2% crude fat) and reduced yield (–1.45 t/ha) compared with hulled oat cultivars. **Conclusion.** Increased plasticity (bi) and stability (σ_d^2) of oat cultivars contributed to higher yields (r_{bi} = 0.943; $r_{\sigma_d^2}$ = 0.344) but reduced grain quality indicators (r_{bi} = –0.697…–0.812; $r_{\sigma_d^2}$ = –0.270…–0.300). Hull content in plastic cultivars decreased (r_{bi} = –0.201).

Key words: spring oats, protein, starch, hull content, crude fat, yield, stability, plasticity, correlation.

Введение

Среди яровых зерновых овес – это одна из основных, хорошо приспособленных к условиям Сибири зерновых культур. Он неприхотлив к почвам и климату, имеет сравнительно короткий вегетационный период, поэтому культура с успехом выращивается во всех районах Омского региона. Овес – культура разностороннего использования, прежде всего в животноводстве, а также в пищевой промышленности. К биохимическому составу зерна овса современным производством предъявляются различные требования в зависимости от направления использования. В селекции на производственные цели следует ориентироваться на высокое содержание в овсе белка, β-глюканов (Loskutov, Polonskiy, 2017), антиоксидантов (Polonskiy et al., 2018) и низкое содержание жира. При фуражном использовании, напротив, ценятся высокое содержание белка и жира (Polonskiy et al, 2019).

С учетом климатических факторов и запросов производства в настоящее время актуальна селекция на повышенную продуктивность и адаптивность к местным природно-климатическим факторам (Surin et al, 2015; Karsai

et al., 2001), устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам (Robinson et al., 2007; Sarkar et al., 2014), что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности, так и качества сельскохозяйственной продукции. Однако взаимосвязь адаптивности сортов с показателями качества зерна сельскохозяйственных культур и, в частности, овса изучена недостаточно.

В связи с вышеизложенным *цель исследования* – определение сопряженности параметров адаптивности сортов овса с урожайностью и основными показателями качества зерна.

Материал и методы

Экспериментальная часть работы проводилась в течение 2011–2019 гг. на опытных полях Омского аграрного научного центра (ФГБНУ «Омский АНЦ»; г. Омск), расположенных в южной лесостепи Западной Сибири. Почва – чернозем обыкновенный выщелоченный, содержание гумуса 6–7%. Площадь делянки – 10 м^2, повторность 4-кратная. Норма высева – 4 млн всхожих зерен на 1 га. Посев произведен селекционной сеялкой ССФК-7, третий селекционный севооборот по предшественнику пшеницы, четвертая культура после пара. Агротехника проведения опытов общепринятая для Западно-Сибирского региона. Уборка проведена в фазу полной спелости селекционным комбайном Hege 125.

Объектами исследований являлись 10 сортов ярового овса селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» (ФГБНУ СибНИИСХ), включенные в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону. К пленчатой группе относятся сорта ‘Орион’ (стандарт), ‘Иртыш 13’, ‘Иртыш 21’, ‘Тарский 2’, ‘Памяти Богачкова’, ‘Скакун’, ‘Факел’, ‘Сибирский Геркулес’; к голозерной – ‘Сибирский голозерный’ (стандарт), ‘Прогресс’.

Анализ образцов конкурсного сортоиспытания проводился по полевым повторениям (не менее двух) с последующим перерасчетом достоверности признака. Аналитическая повторность двукратная.

Определение биохимических показателей проводили с использованием современных и традиционных методов и технологий. Содержание азота в зерне определяли на автоматическом анализаторе KjeltekAuto 1030 Analyzer, коэффициент пересчета азота на белок для зерна овса – 5,7. Содержание сырого жира определяли в аппарате Сокслета по разности обезжиренного и необезжиренного остатка, содержание крахмала в зерне – поляриметрическим методом (Pleshkov, 1985), пленчатость зерна – с применением 3% NaOH (Berkutova, 1991).

Математическая обработка данных проведена методами вариационного, корреляционного и двухфакторного дисперсионного анализов по пособию Б. А. Доспехова (Dospekhov, 1979) в приложении Excel для ПК. Индекс условий окружающей среды (Ij), коэффициент линейной регрессии (bi) и величина стабильности реакции сортов (σ_d^2) рассчитаны по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell (1966).

Периоды исследований с 2011 по 2019 г. характеризовались контрастными условиями, что характерно для резко континентальных условий Омской области. Периоды вегетации 2011 и 2014 г. отмечены как засушливые (ГТК = 0,90 и 0,92), 2015 г. – сухой и холодный (ГТК = 0,70), 2013 г. – достаточно увлажненный (ГТК = 0,99). По средним температурам на протяжении всего периода исследований наблюдался недобор (–6,9…–0,4°С) по сравнению со среднемноголетними данными (рис. 1). Исключения наблюдались в мае и июне 2015 г. (+0,8°С); июне 2017 г. (+0,3°С); июле 2012 г. (+3,4°С), 2016 и 2018 г. (+0,3 и +0,4°С к норме). Температура воздуха в июне 2011 и 2013 г. соответствовали среднемноголетним данным

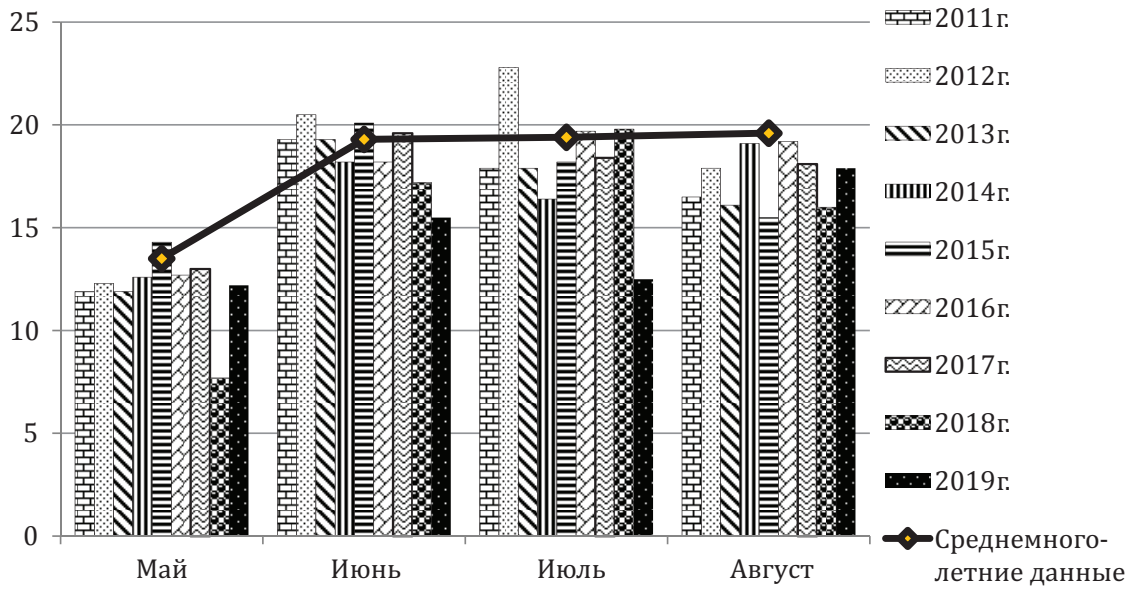


Рис. 1. Характеристика вегетационных периодов 2011–2019 гг. по средней температуре воздуха, °С (Омская ГМОС)

Fig. 1. Characteristics of the growing seasons in 2011–2019 by mean air temperature, °C (Omsk Regional Weather Station)

(19,3°C). На этом фоне наблюдались обильные осадки (+31,3…+414,3% к среднемноголетним данным (рис. 2).

Недостаток осадков характерен для следующих периодов: май и июнь 2011 г. (51,3 и 64,7% к норме), май 2016 г. (36,0%), июнь 2014 г. (78,9%), июль 2012 г. (38,1%), август 2017 г. (87,5%). В третьих декадах июля и августа в метелке растения образуется зерновка, поэтому климатические показатели данных периодов оказывают непосредственное воздействие на урожайность.

вий интенсификации земледелия, сортовых особенностей возделываемой культуры. В современных агроэкологических условиях, вследствие недостаточной стрессоустойчивости растений, потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур реализуется крайне слабо – от 25 до 40% (Rybas, 2016; Feng et al., 2014). Улучшить данный фактор возможно путем более эффективного использования ресурсовосстанавливающей роли сорта, которая оказывает непосредственное влияние на потен-

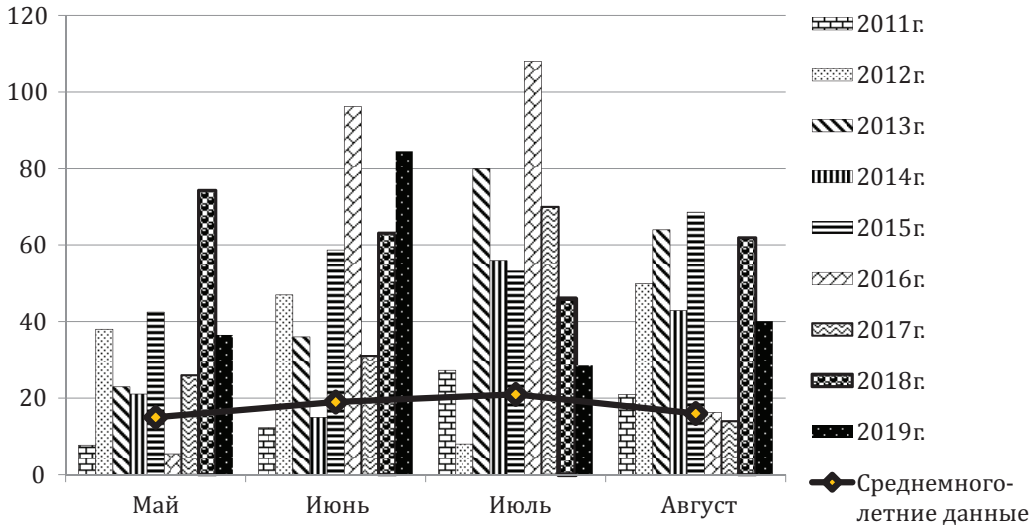


Рис. 2. Характеристика вегетационных периодов 2011–2019 гг. по сумме осадков, мм (Омская ГМОС)

Fig. 2. Characteristics of the growing seasons in 2011–2019 by total rainfall, mm (Omsk Regional Weather Station)

Результаты и обсуждение

Урожайность является основополагающим агрономическим показателем, определяющим результативность любых исследований (Hill, Li, 2016; Nikolaev et al., 2018; Popolzukhin et al., 2018). Это интегральный признак, выражение которого зависит от многочисленных составляющих: абио- и биотических показателей, условий интенсификации земледелия, сортовых особенностей возделываемой культуры. В современных агроэкологических условиях, вследствие недостаточной стрессоустойчивости растений, потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур реализуется крайне слабо – от 25 до 40% (Rybas, 2016; Feng et al., 2014). Улучшить данный фактор возможно путем более эффективного использования ресурсовосстанавливающей роли сорта, которая оказывает непосредственное влияние на потенциальную продуктивность, но в настоящий момент слабо изучена (Keshavarzi et al., 2013; Varga et al., 2015).

В среднем за 2011–2019 гг. сорта овса голозерной формы превышали по качеству зерна пленчатые образцы: прибавка по содержанию белка составила 4,6%, крахмала – 17,6%, жира – 2,2%. Однако, по урожайности (рис. 3) сорта пленчатой формы превышали голозерные (+1,45 т/га).

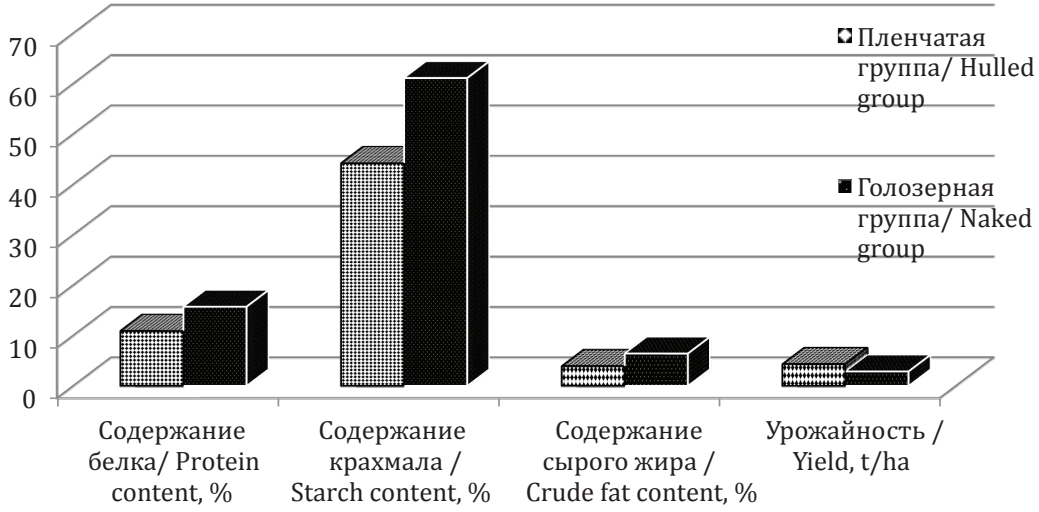


Рис. 3. Сравнительная характеристика пленчатой и голозерной форм овса по урожайности и основным показателям качества зерна, в среднем за 2011–2019 гг.

Fig. 3. Comparative characteristics of hulled and naked oat forms by yield and main grain quality indicators, mean for 2011–2019

Максимальная урожайность зерна овса сформировалась в 2019 г.: индекс условий окружающей среды (Ij) составил 1,48 (табл. 1). Среднегрупповая урожайность в данном периоде составляла 5,84 т/га у пленчатых и 4,11 т/га у голозерных сортов. В пленчатой группе наблюдалось изменение урожайности от 4,11 т/га ('Скакун') до 8,50 т/га ('Факел'); в голозерной – от 4,39 т/га до 3,82 т/га у сортов 'Сибирский голозерный' и 'Прогресс' соответственно.

Минимальная урожайность (в среднем 2,32 т/га у пленчатых сортов и 1,54 т/га у голозерных) наблюдалась в 2012 г. при Ij = –1,84. В данном вегетационном периоде урожайность варьировала от 2,17 т/га у сорта 'Сибирский геркулес' до 2,51 т/га у стандартного сорта 'Орион'.

В среднем за период исследований урожайность стандартного сорта пленчатой группы 'Орион' составила 4,19 т/га, достоверной прибавкой характеризовались сорта 'Факел' и 'Сибирский геркулес' (+0,61 и +0,34 т/га к st. соответственно).

В голозерной группе средняя урожайность стандарта 'Сибирский голозерный' отмечена на уровне 3,03 т/га, что превышало урожайность сорта 'Прогресс'.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа за 2011–2019 гг. выявлено, что при формировании урожайности лимитирующими факторами являлись условия года (80,9% и 70,5% у пленчатой и голозерной форм соответственно), что подтверждает значительная изменчивость признака (CV > 20%). У голозерной формы наблюдался значительный вклад генотипа (13,5%) и взаимодействия факторов «генотип × среда» (16,0%).

Учитывая обратную корреляционную зависимость урожайности зерна овса как со средними температурами воздуха (r = –0,606…–0,994), так и с суммой осадков (r = –0,240…–0,869) можно сделать вывод, что для формирования повышенной урожайности необходимо опти-

Таблица 1. Выраженность и изменчивость урожайности сортов ярового овса, %

Table 1. Expression and variability of yield in spring oat cultivars, %

Сорт / Cultivar	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Xi	bi	σ_a^2
пленчатая группа / hulled group												
Орион / Orion, st.	4,31	2,51	4,15	3,97	5,47	3,08	5,09	3,79	5,30	4,19	0,99	0,08
Иртыш 13 / Irtysh 13	3,65	2,24	3,89	3,62	5,69	2,99	4,86	4,22	5,85	4,11	1,06	0,02
Иртыш 21 / Irtysh 21	4,14	2,44	4,27	4,16	5,42	3,00	5,89	3,24	5,69	4,25	1,06	0,26
Тарский 2 / Tarsky 2	3,65	2,38	4,34	3,95	5,52	3,54	5,24	3,29	6,06	4,22	1,05	0,16
Памяти Богачкова / Pamyati Bogachkova	4,04	2,27	4,09	4,34	5,96	2,98	5,25	2,80	4,94	4,07	1,00	0,39
Скакун / Skakun	4,06	2,23	3,83	4,34	4,96	2,77	4,54	7,23	4,11	4,23	0,92	1,54
Факел / Fakel	3,89	2,34	4,65	2,69	5,90	4,72	5,26	5,24	8,50	4,80	1,29	1,05
Сибирский геркулес / Sibirsky gerkules	4,17	2,17	5,26	4,57	5,69	3,09	5,75	3,79	6,26	4,53	1,15	0,23
Среднее по группе / Mean for the group	3,99	2,32	4,31	3,96	5,58	3,27	5,24	4,2	5,84	4,30	–	–
голозерная группа / naked group												
Сибирский голозерный / Sibirsky golozerny, st.	2,54	1,53	2,41	2,42	4,26	2,30	3,01	4,39	4,39	3,03	0,79	0,34
Прогресс / Progress	2,12	1,55	2,43	2,64	4,02	2,04	2,90	2,49	3,82	2,67	0,69	0,07
Среднее по группе / Mean for the group	2,33	1,54	2,42	2,53	4,14	2,17	2,96	3,44	4,11	2,85	–	–
$НСР_{05}$	0,50	0,20	0,80	0,94	0,82	1,00	0,95	1,10	0,94	–	–	–
Xj	3,66	2,17	3,93	3,67	5,29	3,05	4,78	4,05	5,49	3,58	–	–
Ij	–0,35	–1,84	–0,08	–0,34	1,28	–0,96	0,77	0,04	1,48	–	–	–

Примечание / Note: Xi – среднее по сорту / mean for the cultivar;
Xj – среднее по году / mean for the year;
Ij – индекс условий окружающей среды / index of environmental conditions;
$НСР_{05}$ – наименьшая существенная разница / lowest significant difference;
st. – стандартный сорт / standard reference cultivar

мальное соотношение данных гидротермических показателей.

Глобальные климатические изменения, безусловно, являются одним из факторов снижения производительности зерновых культур (Chayka et al., 2013). В связи с чем особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами (Surin et al., 2015), что является ключевым фактором для стабильного увеличения урожайности. Интенсивность процессов изменений климата диктует необходимость исследований сортов на предмет их адаптивности.

Метод S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) позволяет оценить сорта по их отзывчивости на условия выращивания путем определения коэффициента регрессии (bi) и вариансы стабильности (σ^2_d). Считается, что чем выше единицы коэффициент регрессии, тем сильнее отзывчивость сорта на улучшение условий выращивания. Такие сорта требовательны к высокому уровню агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи. В случае, когда коэффициент регрессии меньше, сорта показывают лучшие результаты в неблагоприятных условиях выращивания.

Анализ коэффициентов регрессии позволил все исследуемые сорта по основным показателям качества зерна и продуктивности разделить на три группы:

1. Представлена сортами при bi > 1: ‘Факел’ и ‘Сибирский геркулес’. Данные сорта при улучшении условий выращивания увеличивали урожайность, что соответствует интенсивному типу.

2. Группа при 0,96 < bi < 1,06 включает стандарт ‘Орион’, а также сорта ‘Иртыш 13’, ‘Иртыш 21’, ‘Тарский 2’ и ‘Памяти Богачкова’. Коэффициент регрессии перечисленных сортов близок к единице, что свидетельствует о полном соответствии полученной урожайности изменению условий выращивания.

3. Сорт ‘Скакун’, у которого отмечен минимальный по опыту коэффициент регрессии (bi < 1), характеризовался слабой реакцией урожайности на улучшение условий выращивания, что соответствует экстенсивному типу.

S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) предложили использовать дополнительный параметр, характеризующий степень изменчивости исследуемых сортов, который определяется как отклонение от линии регрессии. Это степень стабильности реакции (σ^2_d), которая является важным параметром оценки генотипов в процессе их изучения. Чем ниже σ^2_d, тем меньше различие между теоретическими и практическими показателями качества, а отсюда – более высокая устойчивость данного признака. Согласно полученным данным, высокой стабильностью характеризовались пленчатые сорта: ‘Орион’, ‘Иртыш 13’, ‘Иртыш 21’, ‘Тарский 2’ и ‘Памяти Богачкова’, ‘Сибирский геркулес’, а также голозерные сорта ‘Сибирский голозерный’ (стандарт) и ‘Прогресс’.

Современный уровень земледелия еще не может в достаточной степени нивелировать действия неблагоприятных природных факторов. Поэтому сорта должны сочетать хорошую отзывчивость на повышение плодородия и устойчивость к лимитирующим факторам среды (Surin, 2011). Таким образом, согласно данным наших исследований, высокой отзывчивостью на улучшение условий среды и высокой стабильностью обладал сорт овса ‘Сибирский геркулес’ (bi > 1; σ^2_d < 1).

Качество зерна сортов значительно варьирует по годам (CV > 20% по всем перечисленным ниже показателям качества зерна).

Содержание белка у пленчатых форм являлось генетически обусловленным признаком (Фактор А = 60,4%) с высокой долей вклада условий года (Фактор Б = 30,2%); у голозерных форм доля вклада года и взаимодействие факторов «генотип × среда» равноценны (Фактор Б = 40,6%; Фактор А×Б = 39,0%). Высокая доля условий года обуславливает значительное варьирование содержания белка в зерне: от 8,2% (сорт ‘Скакун’) до 13,6 и 13,7% у ‘Факел’ и ‘Сибирский геркулес’ (табл. 2). В голозерной группе белковость зерна изменялась от 12,7 до 18,0%. Корреляционный анализ показал, что содержание белка прямо пропорционально сумме температур (r = 0,320…0,968) и обратно пропорционально сумме осадков (r = –0,296…–0,691).

Аналогичная картина наблюдалась по содержанию в зерне сырого жира, (масла), который является главным запасным продуктом растения, определяя питательность как зерна, так и производимой из него продукции. Значительное варьирование данного показателя по годам (Lim. 1,5–7,0% у пленчатых и 4,7–7,6% у голозерных) объясняется высокой долей вклада условий года: Фактор Б = 38,8% у голозерных сортов и 70% у пленчатых. На формирование масличности овса негативное влияние оказывали избыток средних температур воздуха (r = –0,762).

Главным углеводом зерна, накопление которого определяет продуктивность растений, считается крахмал. Как отмечалось выше, голозерные сорта значительно превосходят пленчатые по показателям качества. Так, крахмалистость зерна составляла 61,1% у голозерных сортов (Lim. 56,0–66,2%) и 44,2 % у пленчатых (Lim. 37,5–53,7%) при основном влиянии условий года (Фактор Б = 71,8 и 89,5%). В среднем за период исследований в пленчатой группе ни один сорт по содержанию крахмала не превышал стандарт (45,4%). Содержанием данного компонента на уровне стандарта характеризовались сорта пленчатые ‘Иртыш 13’, ‘Иртыш 21’ и ‘Сибирский геркулес’ (44,6–45,1%). В голозерной группе достоверно превышал стандарт сорт ‘Прогресс’ (+1,4%). Учитывая обратную корреляционную зависимость крахмалистости зерна овса как со средними температурами воздуха (r = –0,968), так и с суммой осадков (r = –0,691), можно сделать вывод, что для формирования данного показателя качества необходимо оптимальное соотношение гидротермических показателей.

В настоящее время все более широкое применение находит голозерный овес благодаря ряду пищевых и технологических преимуществ перед пленчатым за счет отсутствия цветковых пленок, что упрощает его переработку в крупу. Аналогичные требования предъявляются к пленчатым сортам – снижение доли пленки зерновки. В наших исследованиях среднее содержание пленки составило 28,6% (Lim. 23,6–36,2%). Минимальной пленчатостью зерна в среднем с 2011 по 2019 г. характеризовался стандартный сорт ‘Орион’ (26,8%). На уровне стандарта – сорт ‘Иртыш 13’ (27,2%), остальные исследуемые сорта значительно превосходят стандарт по данному показателю (+1,3…+3,9%). Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что на формирование пленчатости зерна факторы «генотип», «год» и их взаимодействие практически равноценны (Фактор А = 36,9%, Фактор Б = 26,7%, Фактор А×Б = 33,7%). Повышение средних температур воздуха способствовало увеличению доли пленчатости зерна (r = 0,825), с суммой осадков наблюдалась слабая сопряженность (r = 0,243).

Таблица 2. **Выраженность и изменчивость качества зерна сортов ярового овса, %**
Table 2. **Expression and variability of grain quality in spring oat cultivars, %**

Сорт / Cultivar	Содержание белка / Protein content, %		Содержание сырого жира / Crude fat content, %		Содержание крахмала / Starch content, %		Пленчатость зерна / Hull content, %	
	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$
пленчатая группа / hulled group								
Орион / Orion, st.	10,0–13,4	11,2	1,5–6,9	3,9	38,2–53,7	45,4	23,6–30,4	26,8
Иртыш 13 / Irtysh 13	10,4–12,1	11,1	2,5–7,0	4,5*	38,2–52,4	45,1	23,7–30,7	27,2
Иртыш 21 / Irtysh 21	9,5–12,0	10,5*	1,7–6,1	3,9	37,5–53,0	44,7	23,8–34,5	28,1*
Тарский 2 / Tarsky 2	9,5–12,6	10,9	1,9–5,1	3,8	37,6–48,4	43,0*	26,6–36,2	29,8*
Памяти Богачкова / Pamyati Bogachkova	9,2–11,9	10,8	1,8–5,4	3,5	37,6–51,7	43,6*	26,2–36,2	30,7*
Скакун / Skakun	8,2–12,1	10,4*	1,5–5,7	3,7	37,6–52,4	43,9*	26,5–33,2	29,6*
Факел / Fakel	9,9–13,6	10,9	2,2–5,2	4,0	37,6–47,8	43,6*	25,8–31,5	28,5*
Сибирский геркулес / Sibirsky gerkules	10,1–13,7	11,4	2,4–5,4	4,1	36,9–49,8	44,6	25,5–30,6	28,2*
Среднее по группе / Mean for the group	8,2–13,7	10,9	1,5–7,0	3,9	37,5–53,7	44,2	23,6–36,2	28,6*
голозерная группа / naked group								
Сибирский голозерный / Sibirsky golozerny, st.	12,7–18,0	15,9	5,4–7,6	6,7	56,0–66,2	60,4	–	–
Прогресс / Progress	12,7–17,4	15,5	4,7–7,6	6,1	57,7–66,2	61,8*	–	–
Среднее по группе / Mean for the group	12,7–18,0	15,7	4,7–7,6	6,4	56,0–66,2	61,1	–	–

* различия достоверны при уровне значимости pp ≤ 0,05
* differences are significant at significance level pp ≤ 0.05

Также, согласно корреляционному анализу, в период исследований 2011–2019 гг. тесная прямая сопряженность между показателями качества зерна способствовала тому, что при повышении содержания белка в зерне повышались крахмалистость и масличность зерна (r = 0,960…0,962), а также его пленчатость (r = 0,442).

Однако при увеличении урожайности зерна его качественные показатели снижались (r = –0,925…–0,969).

Повышение пластичности (bi) и стабильности (σ_d^2) сортов способствовало увеличению урожайности (r_{bi} = 0,943; $r_{\sigma_d^2}$ = 0,344), но снижало рассмотренные выше показатели качества (r_{bi} = –0,697…–0,812; $r_{\sigma_d^2}$ = –0,270…–0,300) при $F_{факт.} > F_{05}$. Положительным является обратная сопряженность пластичности с пленчатостью зерна (r_{bi} = –0,201).

Очевидно, в данном случае стоит вести речь о конкуренции при формировании урожайных и качественных показателей зерна, что подтверждается исследованиями других авторов (Law, Payne, 1984). Учитывая выявленные взаимосвязи, можно предложить либо вести селекцию овса независимо по направлению адаптивности и урожайности и по направлению качества зерна, либо найти определенный баланс, позволяющий оптимально сочетать в одном сорте перечисленные выше показатели.

Выводы

1. В условиях периода вегетации 2011–2019 гг. наблюдалось значительное варьирование урожайности и основных показателей качества зерна (CV > 20%) как у сортов пленчатой, так и голозерной форм. Данное варьирование обусловлено значительной долей вклада условий года при формировании исследуемых показателей (Фактор Б = 26,7–80,9%), а также сильной прямой (r = 0,607–0,825) либо сильной обратной (r = –0,660… –0,994) сопряженностью с климатическими факторами.

2. Показатели качества зерна тесно сцеплены: с повышением содержания белка в зерне повышались крахмалистость и масличность зерна (r = 0,960–0,962).

3. Повышение пластичности (bi) и стабильности (σ_d^2) сортов способствовало увеличению урожайности (r_{bi} = 0,943; $r_{\sigma_d^2}$ = 0,344), но снижало показатели качества (r_{bi} = –0,697…–0,812; $r_{\sigma_d^2}$ = –0,270…–0,300; $r_{урожайности}$ = –0,925…–0,969).

4. Сорта овса голозерной формы характеризуются повышенным качеством зерна (+4,6% белка, +17,6% крахмала, +2,2% сырого жира) на фоне пониженной урожайности (–1,45 т/га) по отношению к пленчатым сортам.

5. В настоящее время актуальны низкопленчатые сорта. Среди исследуемых сортов данному условию отвечают сорта 'Орион' и 'Иртыш 13' (26,8 и 27,2%). На формирование данного показателя равноценное влияние оказывали факторы «генотип», «год» и их взаимодействие (Фактор А = 36,9%, Фактор Б = 26,7%, Фактор А×Б = 33,7%). Пленчатость зерна возрастала при увеличении доли белка (r = 0,442) и снижалась у пластичных сортов (r_{bi} = –0,201).

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическим планам:

ФГБНУ «Омский АНЦ» по теме № 0797-2019-0009 «Создание новых сортов зернобобовых культур (горох и соя), зернофуражных (ячмень, овес) и многолетних трав (люцерна, кострец безостый) с улучшенными показателями продуктивности и качества, повышенной устойчивостью к болезням, к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды»;

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 plans of:

Omsk Agrarian Scientific Center, theme No. 0797-2019-0009 "Development of New Legume Crop (Pea and Soybean), Grain Forage (Barley and Oat) and Perennial Grass (Alfalfa and Awnless Bromegrass) Cultivars with Improved Indicators of Productivity and Quality, Increased Resistance to Diseases, Unfavorable Biotic and Abiotic Environmental Stressors"; and

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

Berkutova N.S. Methods of grain quality evaluation and formation (Metody otsenki i formirovaniya kachestva zerna). Moscow: Rosagropromizdat; 1991. [in Russian] (Беркутова Н.С. Методы оценки и формирования качества зерна. Москва: Росагропромиздат; 1991).

Chayka V.M., Rubezhniak I.G., Grib O.G. Effect of climatic changes on the productivity of agrocoenoses and seminatural forest-steppe ecosystems. *Science and Society*. 2013;1:192-201.

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).

Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1);36-40.

Feng B., Liu P., Li G., Dong S.T., Wang F.H., Kong L.A. et al. Effect of heat stress on the photosynthetic characteristics in flag leaves at the grain-filling stage of different heat-resistant winter wheat varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2014;200(2):143-155. DOI: 10.1111/jac.12045

Hill C.B., Li C. Genetic architecture of flowering phenology in cereals and opportunities for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:1906.

Karsai I., Mészáros K., Láng L., Hayes P.M., Bedö Z. Multivariate analysis of traits determining adaptation in cultivated barley. *Plant Breeding*. 2001;120(3):217-222. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00599.x

Keshavarzi M., Miri H.R., Haghighi B.J. Effect of water deficit stress on grain yield and yield components of wheat cultivars. *Agronomy and Plant Production*. 2013;4(6):1376-1380.

Law C.N., Paune P.J. Studies of genetical variations effecting grain protein type and amount in wheat. In: *Cereal Grain Protein Improvement. Proceedings of the Final Research Coordination Meeting, Vienna, 6–10 Dec. 1982*. Vienna: IAEA; 1984. p.279-300.

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/agrobiology.2017.4.646rus

Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V., Popolzukhin P.V. Assessment of adaptive features of spring barley in the steppe of Siberian Priirtyshya. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2018;2(47):37-44. [in Russian] (Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В., Поползухин П.В. Оценка адаптивных свойств сортов ярового ячменя в степных условиях Сибирского Прииртышья. *Вестник НГАУ.* 2018;2(47);37-44).

Pleshkov B.V. Practical guide to plant biochemistry (Praktikum po biokhimii rasteniy). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Плешков Б.В. Практикум по биохимии растений. Москва: Агропромиздат; 1985).

Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Breeding for antioxidant content in grain as a promising trend in obtaining healthy food products. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):343-352. [in Russian] (Полонский В.И., Лоскутов И.Г., Сумина А.В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(3):343-352. DOI: 10.18699/VJ18.370

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

Popolzukhin P.V., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Evaluation of productivity and adaptive properties of spring barley varieties under conditions of the Siberian Irtysh region. *Zemledelie = Crop Farming.* 2018;3:40-43. [in Russian] (Поползухин П.В., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка продуктивности и адаптивных свойств сортов ярового ячменя в условиях

Сибирского Прииртышья. *Земледелие*. 2018;3:40-43). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10309

Robinson L.H., Juttner J., Milligan A., Lahnstein J., Eglinton J.K., Evans D.E. The identification of a barley haze active protein that influences beer haze stability: Cloning and characterisation of the barley SE protein as a barley trypsin inhibitor of the chloroform/methanol type. *Journal of Cereal Science*. 2007;45(3):343-352. DOI: 10.1016/j.jcs.2006.08.012

Rybas I.A. Breeding grain crops to increase adaptability (review). *Agricultural Biology*. 2016;51(5);617-626). [in Russian] (Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):617-626). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus

Sarkar B., Sharma R.C., Verma R.P.S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2014;74(1):26-33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004

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 ego 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. Comprehensive breeding patterns assessment on adaptability in the Eastern Siberia region in the selection of barley. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015;4(64);98-103. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А. Комплексная оценка селекционного материала в селекции ячменя на адаптивность в Восточносибирском регионе. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015;4(64):98-103).

Varga B., Vida G., Varga-László E., Bencze S., Veisz O. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2015;201(1):1-9. DOI: 10.1111/jac.12087

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

Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):42-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Nikolaev P.N. , Yusova O.A., Safonova I.V., Aniskov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):42-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

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/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Yusova O.A. https://orcid.org/0000-0003-3679-8985
Nikolaev P.N. https://orcid.org/0000-0002-5192-2967
Safonova I.V. https://orcid.org/0000-0001-8138-930X
Aniskov N.I. https://orcid.org/0000-0002-7819-8286

Коллекция селекционных сортов картофеля – источник исходного материала для селекции на продуктивность, скороспелость, устойчивость к болезням и вредителям

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-50-56
УДК 635.21:631.811
Поступление/Received: 13.01.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

Л. И. КОСТИНА, О. С. КОСАРЕВА*, Э. В. ТРУСКИНОВ, Т. В. КИРПИЧЕВА

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
** o.kosareva@vir.nw.ru*

The collection of potato varieties as a reserve of source material for breeding for high yield, earliness, and resistance to diseases and pests

L. I. KOSTINA, O. S. KOSAREVA*, E. V. TRUSKINOV, T. V. KIRPICHEVA

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
** o.kosareva@vir.nw.ru*

Актуальность. В статье приведена информация о результатах скрининга коллекции селекционных сортов картофеля по основным хозяйственно ценным признакам: скороспелости, высокой продуктивности, повышенному содержанию крахмала, устойчивости к фитофторозу – *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, вирусным болезням, картофельной нематоде – *Globodera rostochiensis* Woll. (Ro1), колорадскому жуку – *Leptinotarsa decemlineata* Say. **Материалы и методы.** Материалом для изучения послужила мировая коллекция ВИР отечественных и зарубежных селекционных сортов картофеля. Изучение выполнено по методике, разработанной в отделе генетических ресурсов картофеля ВИР. **Результаты и выводы.** Выделены сорта с хозяйственно ценными признаками: *по скороспелости* - 'Башкирский' (к-25338), 'Лагун' (к-25294), 'Ранняя роза' (к-25289), 'Чароит' (к-25221), 'Colleen' (к-25224) и др.; *с высокой продуктивностью* – 'Аметист' (к-25336), 'Бастион' (к-25198), 'Нур-Алем' (к-25253), 'Сеним' (к-25306), 'Banba' (к-25222) и др.; *с повышенным содержанием крахмала* – 'Дарница' (к-25179), 'Лад' (к-25180), 'Максимум' (к-25136), Местный сорт (Украина) (к-25281), 'Чараўник' (к-25139) и др.; *с горизонтальной устойчивостью к фитофторозу* – 'Вектор' (к-25200), 'Звездочка' (к-25209), Местный сорт (Грузия) (к-25298, к-25326), 'Сункар' (к-25258), 'Удовицкий' (к-25260); *с полевой устойчивостью к вирусным болезням* – 'Азарт' (к-25196), 'Волат' (к-25263), 'Надежда' (к-25213), Утро (к-25219), Gala (к-25270) и др. Выделены сорта, сочетающие устойчивость к золотистой картофельной нематоде с другими хозяйственно ценными признаками. Представлены сорта с относительной устойчивостью к колорадскому жуку, оцененные в благоприятных условиях для его развития. В результате проведенных исследований выделен новый исходный материал на основные хозяйственно ценные признаки: скороспелость, продуктивность, повышенное содержание крахмала, устойчивость к фитофторозу, вирусным болезням, а также к вредителям – картофельной нематоде и колорадскому жуку.

Ключевые слова: скрининг, хозяйственно ценные признаки, вирусы, фитофтороз, колорадский жук.

Background. Information is provided about the results obtained by screening the VIR collection of improved potato varieties for main commercial traits: earliness, high yield, high starch content, and resistance to late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), viruses, and pests, such as cyst nematode (*Globodera rostochiensis* Woll. (Ro1)), and Colorado beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say). **Materials and methods**. Potato accessions representing domestic and foreign varieties from the VIR collection served as the material for this research. The screening was performed according to the techniques developed at the Potato Genetic Resources Department of VIR. **Results and conclusion.** Potato varieties with valuable commercial traits were identified as breeding sources promising for *earliness*: 'Bashkirskiy' (k-25338), 'Charoit' (k-25221), 'Colleen' (k-25224), 'Lagun' (k-25294), etc.; for *high yield*: 'Ametist' (k-25336), 'Banba' (k-25222), 'Bastion' (k-25198), 'Nur-Alem' (k-25253), 'Senim' (k-25306), etc.; for *high starch content*: 'Charaŭnik' (k-25139), 'Darnitsa' (k-25179), 'Lad' (k-25180), 'Maksimum' (k-25136), etc.; for *resistance to late blight*: local variety (Georgia) (k-25298, k-25326), 'Sunkar' (k-25258), 'Udovitskiy' (k-25260), 'Vektor' (k-25200), 'Zvezdochka' (k-25209); for *resistance to viruses*: 'Azart' (k-25196), Gala (k-25270), 'Nadezhda' (k-25213), Utro (k-25219), 'Volat' (k-25263), etc. Varieties combining resistance to gold potato cyst nematode with other valuable commercial traits were selected. Varieties with relative resistance to Colorado potato beetle were isolated under favorable conditions for the pest's development. As a result of the research, new source material was identified, with a potential to improve major commercial traits of potato: earliness, high yield, high starch content, resistance to late blight, viruses, and pests (cyst nematode and Colorado beetle).

Key words: screening, commercial traits, viruses, *Phytophthora infestans*, *Leptinotarsa decemlineata.*

Введение

Создание новых сортов картофеля, обладающих хозяйственно ценными признаками, в настоящее время является приоритетной задачей отечественной селекции, для которой имеет значение ускорение селекционного процесса и повышение его эффективности. Для решения этой задачи необходимо выделение новых источников ценных признаков для важнейших направлений селекции. Современные сорта должны сочетать в себе такие свойства, как высокая продуктивность, пригодность к переработке, высокие кулинарные и технологические качества, устойчивость к наиболее вредоносным и распространенным заболеваниям. Для определенных регионов России, в частности для Северо-Западного, где сравнительно короткий вегетационный период, большое значение имеет скороспелость сорта картофеля.

Скороспелость – способность сорта рано давать высокий урожай товарных клубней, которая обусловлена сроком начала образования клубней и интенсивностью накопления их массы. Такими являются ранние и среднеранние сорта. Коллекция сортов картофеля ВИР ежегодно пополняется новыми скороспелыми сортами отечественной и зарубежной селекции. Для выведения ранних сортов, как известно, наиболее результативным является использование в качестве родительских форм только ранних сортов. Кроме того, необходим подбор таких сортов, которые передают гибридному потомству не только скороспелость, но и другие хозяйственно ценные признаки.

Одними из вредоносных заболеваний картофеля являются фитофтороз (возбудитель – оомицет *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) и вирусные болезни. В годы с сильным поражением ботвы и клубней фитофторозом урожай может снижаться на 50–80% (Dorozhkin, Belskaya, 1979; Ivanyuk et al., 2005). В последние годы вредоносность данного заболевания возрастает. Он начал поражать картофель на протяжении всей вегетации, появляться на всех сортах, независимо от группы спелости. Произошли значительные изменения и в отношении возбудителя к условиям внешней среды. Это связывают с появлением нового типа совместимости A2: в этом случае кроме вегетативного размножения у паразита наблюдается половое, при котором происходит рекомбинация генов вирулентности и формируются резистентные к фунгицидам расы (Fry et al., 1993; Ivanyuk, Avdey, 1997; Fry, 2008).

К наиболее вредоносным и распространенным среди вирусных болезней на картофеле относится вирус скручивания листьев картофеля (ЛВК) и УВК, вызывающий нередко симптомы морщинистой и полосчатой мозаики, особенно при смешанной инфекции с другими вирусами, а в последние годы – кольцевые некрозы на клубнях (штамм YNTN). Достаточно заметен и сильно распространен МВК, часто вызывающий мозаичное закручивание листьев. К менее вредоносным, хотя и распространенным, относят ХВК, СВК, вызывающие на листьях разные степени и формы мозаик и деформаций. ХВК вызывает на некоторых сортах также некротическую реакцию (реакцию сверхчувствительности) (Truskinov, 2017). Потери урожая картофеля от вирусных болезней могут достигать 10–88% (Blotskaia, 1993).

Одними из наиболее опасных вредителей картофеля являются картофельная нематода (*Globodera rostochiensis* Woll.) и колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say), приносящие значительный ущерб картофелеводству во многих странах мира, в том числе и Российской Федерации. В среднем недобор урожая в очагах нематоды составляет 25–35%, но при высокой степени инвазии в почве может достигать 70–90% (Ermakova, 2006). Потери урожая клубней картофеля от деятельности колорадского жука в зонах постоянно высокой численности вредителя, даже при проведении защитных мероприятий, достигают 30%, а при их отсутствии – 100% (Pavlyushin et al., 2009).

Картофель – важнейшая продовольственная, техническая и кормовая культура. В последние годы в России открылись новые производства по переработке картофеля на чипсы, сухое картофельное пюре, крупку и другие продукты. В настоящее время сортов картофеля с повышенным содержанием крахмала для промышленной переработки выводится мало, однако эти сорта определяют рентабельность перерабатывающих отраслей. В Государственном реестре Российской Федерации преобладают сорта столового типа, что объясняется использованием этой культуры главным образом в кулинарии. Для создания сортов картофеля с повышенным содержанием крахмала необходим новый исходный материал.

Изучение мирового разнообразия генофонда сортов картофеля, поддерживаемого в ВИР, позволяет выделить новые образцы – источники ценных для селекции признаков, что являлось *целью нашего исследования*.

Материал и методы

Работа выполнена на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Ленинградская обл.) в условиях Северо-Западного региона России и на Екатерининской опытной станции – филиале ВИР (ЕОС ВИР; Тамбовская обл.) в Центральном регионе России. Климатические условия Ленинградской области благоприятны для выращивания картофеля. Лето умеренно теплое, влажное, зима умеренно холодная. Среднегодовое количество осадков – 500–600 мм, из них 65–75% приходится на вегетационный период. Сумма эффективных температур – 1600–1800°С. Тамбовская область – регион с неблагоприятными условиями для выращивания картофеля: повышенные дневные температуры (30–35°С) и недостаточное количество влаги (214 мм) за вегетационный период.

Материалом исследования послужила мировая коллекция селекционных сортов картофеля ВИР. Изучение сортов по основным хозяйственно ценным признакам проведено с 2013 по 2019 г. в соответствии с методическим руководством отдела генетических ресурсов картофеля (Kiru et al., 2010) и «Международному классификатору СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L.» (Bukasov et al., 1984). Ежегодно изучали 150–200 образцов картофеля последних лет поступления. Данные, полученные в условиях Ленинградской области, дополнены сведениями, полученными на Екатерининской опытной станции ВИР (ЕОС ВИР), условия которой представляют ценность особенно при оценке на устойчивость к колорадскому жуку и вирусным болезням (морщинистой мозаике, полосчатой мозаике, скручиванию листьев), а также при выявлении потенциальных возможностей сортов по содержанию крахмала.

Уборку и учет урожая осуществляли по мере созревания растений картофеля. Изучаемые сорта по продуктивности сравнивали с принятыми в Северо-Западном регионе сортами-стандартами: ‘Невский’ (к-10736; среднеранний) и ‘Аврора’ (к-12188; среднеспелый). К высоко-

продуктивным отнесены сорта, значение урожая которых составило 101–150% к стандарту, с очень высокой продуктивностью – более 151%.

Содержание крахмала клубней сортов картофеля определяли удельно-весовым способом по методике изучения технологических свойств картофеля (Shinkarev, 1988). Оно основано на определении плотности клубней в воздухе и воде с дальнейшим применением номограммы Эдгара и Назаренко для расчета процента сухого вещества и крахмала. С высокой крахмалистостью считали образцы с его содержанием от 18,1 до 24,1%, с очень высокой – более 24,0%.

В период вегетации отмечали поражение ботвы фитофторозом, вирусными болезнями. Оценку в полевых условиях на степень поражения болезнями и колорадским жуком проводили по 9-балльной шкале, где балл 9 – поражение отсутствует, 7 – слабая степень поражения, 5 – средняя, 3 – сильная, 1 – очень сильная степень поражения.

По некоторым сортам, выделенным по результатам полевой оценки, был проведен анализ их генеалогии.

Погодные условия. Годы проведения исследований отличались по погодным условиям. Благоприятными для роста и развития растений картофеля в Пушкинских лабораториях были сезоны 2013, 2015, 2016 и 2017 г. Температура воздуха и количество осадков в период вегетации было в пределах нормы. Сезон 2014 г. отличался сухой и жаркой погодой. Температура воздуха в период вегетации превышала среднемноголетние значения на 4,3–11,2°С. Сезон 2018 г. характеризовался сухой и жаркой погодой во второй и третьей декадах июля, а также в первой половине августа. Температура воздуха превышала среднемноголетние значения на 8,7–9,9°С.

В условиях Екатерининской ОС ВИР сравнительно благоприятными для роста и развития растения картофеля были погодные условия 2013, 2015 и 2017 г. Сезоны 2014 и 2018 г. характеризовались недостаточным количеством осадков в период вегетации, 2016 г. – сухой и жаркой погодой.

Результаты и обсуждение

Скороспелость. По результатам проведенного исследования, по этому показателю выделены сорта: ‘Башкирский’ (к-25338), ‘Ларец’ (к-25211), ‘Лагун’ (к-25294), ‘Ранняя роза’ (к-25289), ‘Чароит’ (к-25221), ‘Colleen’ (к-25224), ‘Gala’ (к-25270), ‘Infinity’ (к-25234), ‘Jade’ (к-25243). Сорта ‘Башкирский’, ‘Лагун’, ‘Чароит’, ‘Colleen’ сочетают данный признак с высокой продуктивностью.

Ранее из коллекции ВИР были выделены скороспелые сорта с комплексом других хозяйственно ценных признаков. Сорта России: ‘Белоснежка’ (к-12211) – урожайный, с повышенным содержанием крахмала; ‘Жуковский ранний’ (к-11825) – урожайный, устойчив к картофельной нематоде и парше обыкновенной; ‘Радонежский’ (к-12202) – урожайный, устойчив к картофельной нематоде и парше обыкновенной; ‘Удача’ (к-11900) – урожайный, устойчив к фитофторозу (ботва и клубни), ризоктониозу. Сорта Нидерландов: ‘Impala’ (к-23082) – урожайный, устойчив к картофельной нематоде; ‘Sante’ (к-19578) – урожайный, устойчив к картофельной нематоде и парше обыкновенной (Kostina, Kosareva, 2015).

Высокая продуктивность. Выделены источники высокой продуктивности, превышающие по этому показателю районированные в Северо-Западном регионе сорта ‘Невский’ и ‘Аврора’. Российские сорта: ‘Аметист’ (к-25336), ‘Бастион’ (к-25198), ‘Башкирский’, ‘Варяг’ (к-25340), ‘Великан’ (к-25201), ‘Звёздочка’ (к-25209), ‘Кортни’ (к-25341), ‘Метеор’ (к-25212), ‘Надежда’ (к-25213), ‘Призёр’ (к-25217), ‘Утро’ (к-25219), ‘Чароит’; сорта из Казахстана: ‘Лагун’, ‘Нур-Алем’ (к-25253), ‘Сеним’ (к-25306); из Беларуси: ‘Манифест’ (к-25265) и зарубежные сорта: ‘Banba’ (к-25222), ‘Colleen’, ‘Leoni’ (к-25244).

На ЕОС ВИР из представленных выше высокопродуктивных сортов выделялись по продуктивности следующие сорта: ‘Бастион’ (к-25198), ‘Башкирский’, Манифест’ (к-25265), ‘Метеор’ (к-25212), ‘Лагун’, ‘Нур-Алем’ (к-25253), ‘Призёр’ (к-25217), ‘Чароит’, ‘Banba’ (к-25222), ‘Colleen’, ‘Leoni’. Эти сорта можно считать высокопластичными.

Одним из показателей продуктивности является товарность и масса товарного клубня. Выделены сорта с высокой товарностью (более 90%): ‘Азарт’ (к-25196), ‘Арамис’ (к-25337), ‘Барин’ (к-25197), ‘Бастион’, ‘Браво’ (к-25339), ‘Василёк’ (к-25199), ‘Вектор’ (к-25200), ‘Великан’, ‘Горняк’ (к-25311), ‘Звёздочка’, ‘Лагун’, Местный сорт (Грузия) (к-25298), ‘Метеор’, ‘Надежда’, ‘Памяти Рафика’ (к-25215), ‘Регги’ (к-25313), ‘Сеним’, ‘Сеянец Степана’ (к-25255), ‘Славянка’ (к-25332), ‘Удовицкий’ (к-25260), ‘Фаворит’ (к-25295), ‘Фрителла’ (к-25345), ‘Чароит’, ‘Banba’, ‘Carnaval’ (к-25223), ‘Cristina’ (к-25225), ‘Cultra’ (к-25226), ‘Druid’ (к-25227), ‘Elodie’ (к-25229), ‘Fridor’ (к-25231), ‘Infinity’, ‘Lanorma’ (к-25233), ‘Leoni’, ‘Metro’ (к-25246), ‘Natascha’ (к-25235), ‘Nazca’ (к-25236), ‘Primadonna’ (к-25237), ‘Slaney’ (к-25238), ‘Universa’ (к-25240) и др.

У сортов ‘Арамис’, ‘Барин’, ‘Браво’, ‘Горняк’, ‘Звёздочка’, ‘Надежда’, ‘Славянка’, ‘Сеянец Степана’, ‘Banba’, ‘Cultra’, ‘Fridor’, ‘Infinity’, ‘Lanorma’, ‘Nazca’ товарность клубней достигала в отдельные годы изучения 100%.

Выделены сорта с крупными клубнями (91–130 г): ‘Барин’, ‘Бастион’, ‘Вектор’ (к-25200), ‘Звёздочка’, ‘Лагун’, Местный сорт (Грузия), ‘Метеор’, ‘Памяти Рафика’, ‘Призёр’, ‘Северный’ (к-25218), ‘Утро’, ‘Фаворит’, ‘Banba’, ’Carnaval’, ‘Cristina’, ‘Cultra’, ‘Daphne’ (к-25296), ‘Dido’ (к-25297), ‘Druid’, ‘Elodie’ (к-25229), ‘Metro’, ‘Natascha’, ‘Nazca’, ‘Primadonna’, ‘Universa’.

У ряда сортов масса товарного клубня достигала значения выше 130 г: ‘Бастион’, ‘Звёздочка’, ‘Лагун’, ‘Метеор’, ‘Призёр’, ‘Actrice’ (к-25242), ‘Banba’, ‘Metro’, ‘Nazca’, ‘Primadonna’, ‘Universa’. Выделены сорта с очень крупными клубнями (за все года изучения масса товарного клубня превышала 130 г): ‘Чароит’, ‘Fridor’, ‘Leoni’, ‘Slaney’.

Ряд высокопродуктивных сортов сочетали высокую товарность и крупность клубней: ‘Бастион’, ‘Звёздочка’, ‘Лагун’, ‘Метеор’, ‘Чароит’, ‘Banba’, ‘Leoni’.

Высокое содержанием крахмала. Екатерининская опытная станция – важный пункт для выявления потенциальных возможностей сорта по накоплению крахмала в клубнях. В условиях сухого и теплого климата, что характерно для Тамбовской области, раскрываются потенциальные возможности сорта по содержанию крахмала. В результате проведенного исследования выделены сорта, у которых показатель процентного содержания крахмала в отдельные годы достигал более 23,0%: ‘Бармалей’ – 23,5%, ‘Белоснежка’ – 24,0%, ‘Выток’ (к-11897) – 23,3%, ‘Голубизна’ (к-11826) – 23,0%, ‘Зарево’ (к-10773) – 26,9%, ‘Кормилица’ (к-25252) – 24,1%, ‘Лазарь’ (к-12146) – 25,1%, ‘Одиссей’ (к-12087) – 24,9%, ‘Памяти Боброва’ (к-25166) – 23,5%, ‘Погарский’ (к-12173) – 23,2%, ‘Полесское джерело’ (к-24808) – 24,1%, ‘Поран’ (к-25097) – 28,4%, ‘Тениз’ (к-24512) – 24,9%, ‘Щедрик’ (к-25126) – 24,4%,

'Andra' (к-24178) – 26,5%, 'Real' (к-24837) – 26,2%, 'Van Gogh' (к-22897) – 23,8%.

За период изучения в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» выделены высококрахмалистые сорта картофеля из России: 'Алая роза' (к-25144) – 18,0–20,1%, 'Вектор' – 17,5–21,1%; из Казахстана: 'Актюбинский-2' (к-25300) – 18,5–19,5%, 'Жолбарыс' (к-25155) – 18,5–19,5%, 'Тамыз' (к-25307) – 17,0–18,5%; из Беларуси: 'Дарница' (к-25179) – 17,5-18,5%, 'Лад' (к-25180) – 17,5–18,5%, 'Максимум' (к-25136) – 23,8–24,9%; 'Чараўнік' (к-25139) – 19,0–20,6%; из Украины: 'Левада' (к-25121) – 17,5–18,5%, Местный сорт (к-25281) – 17,5–19,5%; из Грузии: Местный сорт (к-25328а) – 17,0–18,7%.

Сравнение выделенных по содержанию крахмала сортов с данными, полученными на ЕОС ВИР, показало, что у сортов 'Жолбарыс', 'Лад', 'Тамыз' процентное содержание крахмала было выше. Так, у сорта 'Жолбарыс' оно достигало 21,7%, у сорта 'Тамыз' – до 21,6%, у сорта 'Лад' – до 21,9%.

На ЕОС ВИР выделены сорта с содержанием крахмала 20,0–22,6%: из России – 'Василёк', 'Златка' (к-25456), 'Мусинский' (к-25312), 'Памяти Лорха' (к-25214), 'Сибирячка' (к-25290), 'Танго' (к-25439); из Казахстана – 'Валентина' (к-25119), 'Мошняковский' (к-25162), 'Памяти Конаева' (к-25305), 'Памяти Лигай' (к-25331), 'Сеянец Лаптева' (к-25161), 'Сункар' (к-25258), 'Экспресс' (к-25262), 'Этюд' (к-25178); из Беларуси – 'Альпинист' (к-11920).

Горизонтальная устойчивость к фитофторозу. По данным станции защиты растений (СТАЗР) и Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР), мониторинг популяции паразита в Ленинградской области показал ее высокую вирулентность, так как были идентифицированы все гены от *R1* до *R11*, за исключением *R9* (Patrikeeva, Chingaeva, 2005). Поскольку популяция оомицета *Phytophthora infestans* в Ленинградской области представлена всеми генами вирулентности, защиту картофеля от болезни может обеспечить только горизонтальная устойчивость, независимая от расовой специализации паразита и являющаяся эффективным фактором ограничения вредоносности заболевания в полевых условиях (Kameraz, 1971).

В годы проведения изучения развитие фитофтороза на растениях картофеля было на высоком уровне, кроме 2014 г., который характеризовался сухой и жаркой погодой. Первые признаки поражения в 2013, 2015 и 2018 г. отмечали в конце июля. В 2016 и 2017 г. обильные осадки способствовали раннему появлению фитофтороза: первые признаки наблюдали уже в начале июля. В качестве неустойчивого контроля использовали сорта 'Dorisa' (к-19526) и 'Энергия' (к-11994). В эпифитотийные годы на данных сортах была сильная степень развития болезни. В связи с этим результаты оценки фитофтороустойчивости сортов картофеля можно рассматривать как высокодостоверные.

В периоды проведения исследования большинство изучаемых образцов были поражены в сильной степени. Несколько образцов, показавшие в течение нескольких лет слабую степень инвазии патогена на растениях картофеля, выделились по горизонтальной устойчивости к фитофторозу. Это сорта: 'Вектор', 'Звездочка', Местный сорт (Грузия), Местный сорт (Грузия) (к-25326), 'Сункар' (к-25258), 'Удовицкий'.

Устойчивость к вирусным болезням. В течение нескольких лет было проведено обследование коллекции сортов на зараженность вирусными болезнями методом иммуноферментного анализа (ИФА) на вирусы картофеля ХВК, SBK, МВК и YBK. Данные, представленные по годам, свидетельствуют о сильной зараженности вирусами (таблица). Происходит это в результате многолетнего накопления вирусной инфекции в процессе вегетативного, клонового размножения. Из энтомофильных вирусов наибольшее распространение и опасность представляют МВК и YBK.

В ходе визуальной и лабораторной оценки сортов на полевую вирусоустойчивость нельзя было установить источники генетически обусловленной устойчивости к тем или иным вирусам ввиду массовой зараженности ими и отсутствия специального изучения, предусматривающего искусственное заражение образцов. Зато отмечались сорта, относительно устойчивые по данным визуальной оценки, которые при наличии тех или иных вирусов по данным ИФА внешне их слабо или совсем не проявляли. Такой тип полевой устойчивости называется толерантностью и представляет определенную селекционную и хозяйственную ценность (Truskinov, 2011, Truskinov et al., 2011).

Таблица. Зараженность коллекции селекционных сортов картофеля вирусными болезнями

Table. Infection of the potato cultivar collection by viruses

Год	Число сортов	Число сортов с вирусами (%)			
		ХВК	SBK	МВК	YBK
2008	70	13	60	64	33
2009	257	20	80	83	50
2010	270	13	34	45	28
2011	140	18	39	76	42
2012	30	3	23	63	50
2018	42	7	40	64	24
2019	60	10	50	65	38

По проведенному обследованию образцов на степень поражения вирусными болезнями, вызывающими на растениях картофеля различные формы мозаик, закручивания и скручивания листьев, выделены сорта с высокой полевой устойчивостью к вирусным болезням: 'Азарт', 'Бастион', 'Великан', 'Волат' (к-25263), 'Гасцінец' (к-25264), 'Горняк', 'Жанна' (к-25206), 'Кормилица', 'Красавчик' (к-25210), 'Манифест', Местный сорт (Украина) (к-

25283), Местный сорт (Украина) (к-25285), Местный сорт (Грузия), 'Муромец' (к-25268), 'Надежда', 'Нур-Алем', 'Памяти Конаева', 'Памяти Лорха', 'Сеним', 'Утро', 'Чароит', 'Gala'.

При проведении обследования коллекции в 2019 г. среди новых сортов картофеля последнего года поступления было выделено 12 сортов – внешне относительно здоровых. Из них 9 сортов, содержащих вирусы S, M и Y, могут считаться толерантными к вирусной инфекции. Это образцы: Гибрид Киру 17-7 (к-25479), 'Гранд' (к-25435), 'Гурман' (к-25473), 'Евразия' (к-25437), 'Златка', Местный сорт (Абхазия) (к-25431), 'Самба' (к-25458), 'Таджикистан' (к-25424), 'Sandrin' (к-25443). Не выявлены вирусы у сортов 'Рашт' (к-25423), 'Гулливер' (к-25455) и 'Перламутровый' (к-25476), что не исключает их наличие при повторном и более широком обследовании.

Устойчивость к вредителям картофеля. Одним из злостных вредителей картофеля является колорадский жук. На ЕОС ВИР эпизоотии данного вредителя отмечаются практически ежегодно в связи с благоприятными климатическими условиями для его развития.

В результате анализа погодных условий наиболее ценными для оценки сортов на устойчивость к колорадскому жуку были годы 2016, 2018 и 2019. В 2016 г. лето было сухое и жаркое – в июне температура воздуха доходила до +28°С, в июле – до +36°С, в августе дневная температура колебалась от +18 до +33°С. Теплая зима 2018 г. способствовала хорошей перезимовке вредителя. Сразу после всходов на образцах было отмечено массовое появление жука и была проведена первая оценка. Перед цветением растений, когда появились личинки жука, проводили вторую оценку. Благоприятным для развития колорадского жука был также 2019 г. Теплая зима способствовала хорошей перезимовке вредителя. Весной на всходах было массовое появление жука. В апреле средняя температура воздуха за месяц составила +7,8°С при среднемноголетней норме +4,9°С. Осадков выпало 14 мм при норме 32 мм. В мае средняя температура воздуха за месяц составила +22°С при норме +13,9°С. В июне стояла сухая, жаркая погода. Неблагоприятным для оценки на устойчивость к колорадскому жуку был сезон 2017 г.: в связи с прохладной и дождливой весной появление колорадского жука было поздним.

Выделены относительно устойчивые сорта (балл 7–9) за несколько лет наблюдений: 'Акжар' (к-24622), 'Адиль' (к-25112), 'Бастион', 'Вад' (к-25147), 'Вектар' (к-25134), 'Вектор', 'Великан', 'Волат', 'Жанна', 'Жуалы' (к-25156), 'Забава' (к-25083), 'Ильин' (к-25303), 'Кайнар' (к-25158), 'Кормилица', 'Красавчик', 'Ларец', 'Ломоносовский' (к-25438), 'Муромец', 'Немешаевский 100' (к-24804), 'Нур-Алем', 'Поляна' (к-25096), 'Ранняя роза', 'Сеним', 'Сеянец Лаптева', 'Сеянец Степана', 'Сиреневый туман' (к-25143), 'Танда' (к-25174), 'Тандем' (к-25170), 'Текес' (к-25173), 'Утро', 'Фокинский' (к-25133), 'Щедрик', 'Этюд'. Сорок процентов (40%) выделившихся сортов созданы селекционерами Казахстана.

Несколько сортов показали очень высокую устойчивость к вредителю: Местный сорт (к-25281, Украина), 'Полонез' (к-25288, Украина), 'Союз' (к-25169) (сорт казахской селекции).

Анализ генеалогии выделенных сортов показал, что многие из них выведены с использованием культурного вида *Solanum andigenum* Juz. et Buk. (Kostina et al., 2016; Kostina, Kosareva, 2017). Сорт 'Акжар' = Вилия × (дигаплоид *S. andigenum* USW 1793 × *S. rybinii*); 'Кормилица' = 'Sante' (с *S. andigenum*) × Зарево (с *S. andigenum*); 'Нур-Алем' = ГЗ-13 × *S. andigenum*; 'Сиреневый туман' = межвидовой гибрид (*S. demissum*, *S. stoloniferum*, *S. andigenum*, *S. vernei*, *S. phureja*, сорта *S. tuberosum*); 'Союз' = межвидовой гибрид с *S. andigenum* (593 m-106 × Anosta); 'Фокинский' = 88.16/20 × Зарево (с *S. andigenum*) и др.

Коллекция селекционных сортов картофеля ВИР представлена образцами, обладающими устойчивостью к такому опасному вредителю, как картофельная нематода. В результате оценки нематодоустойчивых сортов на комплекс других ценных признаков выделены сорта с хозяйственно ценными свойствами: раннеспелостью – 'Jade'; высокой продуктивностью – 'Кортни', 'Метеор', 'Banba', 'Leoni'; высоким содержанием крахмала – 'Лад', 'Левада', 'Максимум', 'Чараўнік'; вирусоустойчивостью – 'Волат', 'Гасцінец', 'Горняк', а также сорта, сочетающие высокую продуктивность с устойчивостью к вирусам – 'Манифест'; высокую продуктивность и раннеспелость – 'Colleen'; раннеспелость и устойчивость к вирусам – 'Gala'.

Заключение

По результатам полевого скрининга и лабораторного изучения коллекции селекционных сортов картофеля нового поступления в условиях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» и Екатерининской опытной станции ВИР выделен новый исходный материал для селекции на главные хозяйственно ценные признаки – раннеспелость, высокую продуктивность, высокое содержание крахмала, устойчивость к болезням и вредителям.

Условия Екатерининской опытной станции ВИР позволили сделать оценку сортов на устойчивость к колорадскому жуку, а также выявить потенциальные возможности у сортов по содержанию крахмала.

Немаловажное значение имеют сорта, которые сочетают в себе ряд ценных признаков, что позволит более целенаправленно подбирать компоненты для скрещивания: 'Бастион' (к-25198), 'Башкирский' (к-25338), 'Вектор' (к-25200), 'Великан' (к-25201), 'Волат' (к-25263), 'Гасцінец' (к-25264), 'Горняк' (к-25311), 'Жанна' (к-25206), 'Звёздочка' (к-25209), 'Кортни' (к-25341), 'Красавчик' (к-25210), 'Лад' (к-25180), 'Ларец' (к-25211), 'Левада' (к-25121), 'Максимум' (к-25136), 'Манифест' (к-25265), Местный сорт (к-25328а, Грузия), Местный сорт (к-25281, Украина), 'Лагун' (25294), 'Ранняя роза' (к-25289), 'Метеор' (к-25212), 'Муромец' (к-25268), 'Надежда' (к-25213), 'Нур-Алем' (к-25253), 'Сеним' (к-25306), 'Утро' (к-25219), 'Чараўник' (к-25139), 'Чароит'` (к-25221), 'Banba' (к-25222), 'Colleen' (к-25224), 'Gala' (к-25270), 'Jade' (к-25243), 'Leoni' (к-25244).

Выделенный исходный материал может быть рекомендован для дальнейшего использования в селекционных программах.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0004 «Коллекции вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей ВИР – изучение и рациональное использование».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0004 "Collections of Vegetatively Propagated Crops (Potato, Fruit, Berry and Ornamental Crops, Grapes) and Their Wild Relatives at VIR: Studying and Sustainable Utilization".

References/Литература

Blotskaia Zh.V. Virus diseases of potatoes (Virusnye bolezni kartofelya). Minsk: Nauka i tekhnika; 1993. [in Russian] (Блоцкая Ж.В. Вирусные болезни картофеля. Минск: Навука і тэхніка; 1993).

Bukasov S., Budin K., Kameraz A., Lehnovich V., Kostina L., Bavyko N., Korneychuk V., Zadina J., Vidner I., Major M., Bareš I., Odegnal V., Baranek N. International COMECON list of descriptors for potato species of the section *Tuberarium* (Dun.) Buk., genus *Solanum* L. (Mezhdunarodny klassifikator SEV vidov kartofelya sektsii *Tuberarium* (Dun.) Buk. roda S*olanum* L.). Leningrad: VIR; 1984. [in Russian] (Букасов С., Будин К., Камераз А., Лехнович В., Костина Л., Бавыко Н., Корнейчук В., Задина Й., Виднер И., Майор М., Бареш И., Одегнал В., Баранек Н. Международный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода S*olanum* L. Ленинград: ВИР; 1984).

Dorozhkin N.A., Belskaya N.A. Potato diseases (Bolezni kartofelya). Minsk: Nauka i tekhnika; 1979. [in Russian] (Дорожкин Н.А., Бельская Н.А. Болезни картофеля. Минск: Наука и техника; 1979).

Ermakova L.V. Golden potato nematode as an object of internal and external plant quarantine (Zolotistaya kartofelnaya nematoda kak obyekt vnutrennego i vneshnego karantina rasteniy). In: *Potato Growing Issues*: *Actual Problems of Science and Practice*: *Scientific Proceedings* (*Voprosy kartofelevodstva. Aktualnye problem nauki i praktiki: nauchnye trudy*). Moscow; 2006. p.267-271. [in Russian] (Ермакова Л.В. Золотистая картофельная нематода как объект внутреннего и внешнего карантина растений. В кн.: *Вопросы картофелеводства*: *Актуальные проблемы науки и практики*: *научные труды*. Москва; 2006. С.267-271).

Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and *R* gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology.* 2008;9(3):385-402. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x

Fry W.E., Goodwin S.B., Dyer A.T., Matuszak J.M., Drenth A., Tooley P.W. et al. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways, and implications. *Plant Disease*. 1993;77:653-661.

Ivanyuk V.G., Avdey O.V. News in the biology of the potato late blight pathogen (Novoe v biologii vozbuditelya fitoftoroza kartofelya). *NTI i rynok = STI and the Market.* 1997;(6):13-14. [in Russian] (Иванюк В.Г., Авдей О.В. Новое в биологии возбудителя фитофтороза картофеля. *НТИ и рынок*. 1997;(6):13-14).

Ivanyuk V.G., Banadysev S.A., Zhuromsky G.K. Protection of potatoes from diseases, pests and weeds (Zashchita kartofelya ot bolezney, vrediteley i sornyakov). Minsk: Belprint; 2005. [in Russian] (Иванюк В.Г., Банадысев С.А., Журомский Г.К. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. Минск: Белпринт; 2005).

Kameraz A.Ya. Potato breeding (Selektsiya kartofelya). In: *Cultivated flora of the USSR* (*Kulturnaya flora SSSR*). Vol. 9. Leningrad: VIR; 1971. p.430-440. [in Russian] (Камераз А.Я. Селекция картофеля. В кн.: *Культурная флора СССР.* Т. 9. Ленинград: ВИР; 1971. С.430-440).

Kiru S.D., Kostina L.I., Truskinov E.V., Zoteyeva N.M., Rogozina E.V., Koroleva L.V., Fomina V.E., Palekha S.V., Kosareva O.S., Kirilov D.A. Guidelines for the maintenance and study of the global potato collection (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoy kollektsii kartofelya). St. Petersburg: VIR; 2010. [in Russian] (Киру С.Д., Костина Л.И., Трускинов Э.В., Зотеева Н.М., Рогозина Е.В., Королева Л.В., Фомина В.Е., Палеха С.В., Косарева О.С., Кирилов Д.А. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. Санкт-Петербург: ВИР; 2010).

Kostina L.I., Koroleva L.V., Kosareva O.S., Fomina V.E. Catalogue of the VIR global collection. Issue 829. Potato varieties of Russia and the CIS countries (Selektsionnye sorta kartofelya Rossii i stran SNG). St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] (Костина Л.И., Королева Л.В., Косарева О.С., Фомина В.Е. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 829. Селекционные сорта картофеля России и стран СНГ. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).

Kostina L.I., Kosareva O.S. New source material for breeding early potato cultivars (Novy iskhodny material dlya selektsii kartofelya na skorospelost). In: *Current Problems and Strategy for the Development of Agrarian Science of the European North of Russia*: *Proceedings of the International Scientific Conference* (*Sovremennye problemy i strategiya razvitiya agrarnoy nauki Yevropeyskogo Severa Rossii: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*). Petrozavodsk; 2015. p.91-95. [in Russian] (Костина Л.И., Косарева О.С. Новый исходный материал для селекции картофеля на скороспелость. В кн.: *Современные проблемы и стратегия развития аграрной науки Европейского Севера России*: *Материалы международной научной конференции*. Петрозаводск; 2015. С.91-95).

Kostina L.I., Kosareva O.S. Pedigree of domestic potato cultivars varieties (Genealogiya otechestvennykh sortov kartofelya). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Костина Л.И., Косарева О.С. Генеалогия отечественных сортов картофеля. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).

Patrikeeva M.V., Chingaeva Yu.N. The population of the fungus *Phytophthora infestans* in Leningrad Province (Populyatsiya griba *Phytophthora infestans* v Leningradskoy oblasti). In: *Phytosanitary Health Improvement of Ecosystems*: *Proceedings of the Second All-Russian Congress on Plant Protection* (*Fitosanitarnoye ozdorovleniye ekosistem: Materialy vtorogo Vserossiyskogo syezda po zashchite rasteniy*). St. Petersburg; 2005. p.527-528. [in Russian] (Патрикеева М.В., Чингаева Ю.Н. Популяция гриба *Phytophthora infestans* в Ленинградской области. В кн.: *Фитосанитарное оздоровление экосистем*: *Материалы второго Всероссийского съезда по защите растений*. Санкт-Петербург; 2005. p.527-528).

Pavlyushin V.A., Sukhoruchenko G.I., Fasulati S.R., Vilkova N.A. Colorado potato beetle: spreading, ecological plasticity, harmfulness, control methods (Koloradskiy zhuk: rasprostraneniye, ekologicheskaya plastichnost, vredonosnost, metody kontrolya). *Zashhita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2009;(3):69-100. [in Russian] (Павлюшин В.А., Сухорученко Г.И., Фасулати С.Р., Вилкова Н.А. Колорадский жук: распространение, экологическая пластичность, вредоносность, методы контроля. *Защита и карантин растений.* 2009;(3):69-100).

Shinkarev V.I. Methodological guidelines for studying the technological properties of potatoes (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu tekhnologicheskikh svoystv kartofelya). Leningrad; 1988. [in Russian] (Шинкарев В.И. Методические указания по изучению технологических свойств картофеля. Ленинград; 1988).

Truskinov E.V. Concerning the method of field assessment of potato varieties for resistance to viruses (K metodike polevoy otsenki sortov kartofelya na virusoustoychivost).

In: S.V. Zhevora (ed.). *Potato farming. Proceedings of the International Scientific and Practical conference 'Innovative Technologies of Potato Breeding and Seed Production'* (*Kartofelevodstvo. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Innovatsionnyye tekhnologii selektsii i semenovodstva kartofelya"*). Moscow; 2017. p.80-87. [in Russian] (Трускинов Э.В. К методике полевой оценки сортов картофеля на вирусоустойчивость. В кн.: *Картофелеводство. Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии селекции и семеноводства картофеля»* / под ред.: С.В. Жеворы. Москва; 2017. С.80-87).

Truskinov E.V. Tolerance to virus diseases of potato as a method of plant resistance to viruses (Tolerantnost k virusnym boleznyam kartofelya kak sposob ustoychivosti rasteniy k virusam). In: *Cultivated Plants for Sustainable Agriculture in the 21st Century (Immunity, Breeding, Introduction).* (*Kulturnye rasteniya dlya ustoychivosti selskogo khozyaystva v XXI veke [immunitet, selektsiya, introduktsiya]*). Vol. IV, Pt I. Moscow; 2011. p.138-145. [in Russian] (Трускинов Э.В. Толерантность к вирусным болезням картофеля как способ устойчивости растений к вирусам. В кн.: *Культурные растения для устойчивости сельского хозяйства в XXI веке (иммунитет, селекция, интродукция).* Т. IV, ч. I. Москва; 2011. С.138-145).

Truskinov E.V., Khrustaleva Ya.B., Koroleva L.V., Kosareva O.S. Investigation of the potato collection of the All-Russian Institute of Plant Industry for the purpose of revealing grades with field resistance virus diseases. *Plant Protection News*. 2011;(3):41-44. [in Russian] (Трускинов Э.В., Хрусталева Я.Б., Королева Л.В., Косарева О.С. Обследование коллекции картофеля ВИР с целью выявления сортов с полевой устойчивостью к вирусным болезням. *Вестник защиты растений*. 2011;(3):41-44).

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

Костина Л.И., Косарева О.С., Трускинов Э.В., Кирпичева Т.В. Коллекция селекционных сортов картофеля – источник исходного материала для селекции на продуктивность, скороспелость, устойчивость к болезням и вредителям. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):50-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-50-56

Kostina L.I., Kosareva O.S., Truskinov E.V., Kirpicheva T.V. The collection of potato varieties as a reserve of source material for breeding for high yield, earliness, and resistance to diseases and pests. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):50-56. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-50-56

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/10.30901/2227-8834-2020-2-50-56

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Kostina L.I. https://orcid.org/0000-0002-4053-0685
Kosareva O.S. https://orcid.org/0000-0003-0151-8349

Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64
УДК 633.521;631.524.86: 577.2
Поступление/Received: 26.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

CC BY

Worldwide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties

С. Н. КУТУЗОВА, Е. А. ПОРОХОВИНОВА *, Н. Б. БРАЧ, А. В. ПАВЛОВ

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
*s.kutuzova@vir.nw.ru; * e.porohovinova@vir.nw.ru; n.brutch@vir.nw.ru; avpavlov77@yandex.ru*

S. N. KUTUZOVA, E. A. POROKHOVINOVA *, N. B. BRUTCH, A. V. PAVLOV

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
*s.kutuzova@vir.nw.ru; * e.porohovinova@vir.nw.ru; n.brutch@vir.nw.ru; avpavlov77@yandex.ru*

Актуальность. К современному сорту льна-долгунца предъявляются жесткие требования, в том числе устойчивость к ржавчине. **Материалы и методы.** Коллекция льна-долгунца ВИР, насчитывающая 2485 образцов, с 1970 г. оценивалась на искусственном инфекционно-провокационном фоне. **Результаты.** Установлено, что почти все отечественные и зарубежные образцы и сорта, полученные до 1957 г., сильно восприимчивы к болезни. Среди них выявлено пять русских кряжей[1] и созданный в ВИР сорт 'ГДС-3', устойчивые до настоящего времени. Выделенные из них и трех зарубежных сортов линии с установленным числом оригинальных эффективных *R*-генов переданы селекционерам. В 1989–2008 гг. нами созданы и переданы селекционерам 19 доноров с комплексом хозяйственно ценных признаков – аналоги сортов 'Оршанский 2' и 'Призыв 81' с теми же генами. В коллекции ВИР есть 10 доноров устойчивости к ржавчине, созданных ВНИИ льна, с высоким содержанием волокна. Первый относительно устойчивый к ржавчине сорт 'Л-1120' создан в 1951 г., имеет полигенный тип устойчивости, кроме того устойчив к фузариозному увяданию и полеганию, широко использован при создании сортов. По мере их распространения поражение посевов льна снизилось. Первый сорт с олигогенной устойчивостью – 'Томский 16' – выведен в 1990 г. В настоящее время создано много защищенных *R*-генами сортов. Ржавчина на посевах льна больше не проявляется. **Заключение.** Селекционеры имеют богатый исходный материал для выведения устойчивых сортов, содержащийся в коллекции ВИР. Использование доноров устойчивости к ржавчине в гибридизации не может вызвать ухудшения важнейших свойств сорта.

Ключевые слова: *Melampsora lini* (Pers.) Lev., гены устойчивости к ржавчине, полигенная устойчивость, доноры устойчивости.

Background. There are strict requirements for a modern flax cultivar. It must have a whole set of valuable characters, including rust resistance. **Materials and methods.** The flax collection of 2485 accessions held by VIR was evaluated using artificial provocative infection. **Results.** Almost all domestic and foreign accessions and varieties collected before 1957 were highly or extremely susceptible to rust. Five Russian kryazhs[1] and cv. 'GDS-3' developed at VIR were found to retain rust resistance up to the present moment. Lines derived from them and from three foreign varieties, with an identified number of the original effective *R* genes, were submitted to breeders. Nineteen donors with a set of economically useful traits, analogous to cvs. 'Orshansky 2' and 'Prizyv 81' and carrying the same genes, were produced and distributed to breeders. The VIR collection holds 10 donors of rust resistance with high fiber content developed at the All-Russian Research Institute of Flax. Some donors of resistance to other diseases released by the same Institute also possess high rust resistance, thus forming a rich stock of source material. The first cultivar relatively resistant to rust ('L-1120') was released in 1951. Possessing polygenic resistance, it was also resistant to *Fusarium* wilt and lodging, so it was widely used for breeding other cultivars with similar characteristics. As their cultivation expanded, the harvest losses caused by rust dropped. The first rust-resistant cultivar with oligogenic resistance ('Tomsky 16') appeared in 1990. By now, many cultivars protected by *R* genes of rust resistance have been developed. They combine this trait with resistance to *Fusarium* and lodging, high yield, and high fiber content. Flax rust incidence is not a problem anymore. **Conclusion.** Plant breeders have at their disposal a rich stock of source material preserved in the VIR collection to produce resistant flax cultivars. The use of rust resistance donors in hybridization cannot disrupt the most important properties of a cultivar.

Key words: *Melampsora lini* (Pers.) Lev., rust resistance genes, polygenic resistance, donors of resistance.

1 Кряжи – староместные российские сорта народной селекции.

1 Kryazh – an old Russian landrace evolved in the process of folk breeding.

Введение

Лен-долгунец – одна из важнейших исконно русских технических культур. Новое тысячелетие открывает новые перспективы применения льна. У него используют все части растения: стебель – для получения высококачественного длинного волокна, обладающего высокими гигиеническими свойствами, эластичностью и прочностью; из очесов – короткого волокна – изготавливают бытовые ткани и экологически чистые армированные композиционные материалы для звуко-, вибро- и теплоизоляции салонов автомобилей, самолетов и т. д. Из волокна льна любой длины делают модифицированное волокно (котонин) для выработки тонких бытовых тканей и трикотажа в смеси с другими волокнами (синтетическими, хлопком, шерстью). Из него могут быть изготовлены медицинская вата, высокосортная бумага, порох и многое другое. Особенно возрастает значение льна для России в настоящее время в условиях дефицита хлопкового волокна. Из костры (древесина соломки) делают мебельные и строительные плиты для теплоизоляции и поглощения шума. Масло семян льна богато альфа-линоленовой кислотой (омега 3) и обладает целебными свойствами, а также широко используется для изготовления олифы, так как быстро высыхает (Zhivetin et al., 2002).

В Северо-Западном регионе нашей страны под влиянием умеренных температур, достаточного увлажнения и уникально продолжительного светового дня в период фазы быстрого роста льна складываются условия, способствующие получению наиболее высокорослых растений с высоким содержанием и качеством волокна.

С древних времен и в царской России, когда не существовало сортов, а местные льны были восприимчивы к болезням и сильно полегали, лен-долгунец возделывали на площади до 1 млн га; культура была высокодоходной, а волокно и семена льна являлись одним из главных предметов экспорта. Еще в начале XX века льняное волокно было одним из основных экспортных товаров России (Zhuchenko et al., 2009). В советское время площади, занимаемые льном, стали постепенно сокращаться, особенно в последние годы. К 2018 г., по данным Федеральной службы государственной статистики (Agriculture in Russia..., 2019), они составляли всего 45 тыс. га., в основном в Тверской, Смоленской, Вологодской и Омской областях, Алтайском крае и Удмуртии.

К современному сорту льна-долгунца предъявляются жесткие требования. Он должен обладать целым комплексом ценных признаков, большая часть которых наследуется полигенно; многие из них складываются из нескольких показателей, находящихся в прямой или обратной связи друг с другом. Устойчивость к болезням не зависит от других признаков, но без нее не может быть гарантирована реализация лучшего комплекса всех других свойств сорта. Иногда болезнь становится лимитирующим фактором в возделывании культуры. Не случайно Н. И. Вавилов свою первую крупную научную работу посвятил именно иммунитету к инфекционным заболеваниям и уделял большое внимание этой проблеме до последних дней (Vavilov, 1918).

Ржавчина льна – заболевание, вызываемое грибом *Melampsora lini* (Pers.) Lev. Устойчивость к возбудителю наследуется шестью доминантными генами – *K*, *L*, *M*, *N*, *P* и *K*, для которых характерен множественный аллелизм (Kutuzova, 2014). Болезнь издавна была широко распространена во всей льноводной зоне нашей страны и наносила огромный вред посевам. В настоящее время ее практически не регистрируют в производственных посевах, так как большая часть возделываемых сортов устойчива к болезни (Kutuzova, 2012).

Поэтому *целью данной работы* было проследить динамику накопления устойчивых образцов в коллекции льна-долгунца ВИР как основного источника исходного материала для селекции в СССР и РФ для объяснения факторов, приведших к улучшению фитосанитарной обстановки по этому патогену в современной России.

Материал и методы

Источником устойчивости отечественных сортов послужил мировой генофонд льна, сосредоточенный во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Начало создания мировой коллекции льна-долгунца ВИР относится к 1922 г., когда многочисленные экспедиции, организованные Н. И. Вавиловым, приступили к обследованию всех льносеющих районов страны. В эти годы в коллекцию ежегодно поступало до 130–140 образцов староместных и кряжевых льнов из различных регионов – от северо-западных областей до Дальнего Востока, – представляющих собой оригинальные источники уникальных хозяйственно ценных признаков (раннеспелости, высокого качества волокна, устойчивости к неблагоприятным факторам и др.), сформировавшихся в различных условиях. Однако, как правило, местные образцы были плохо выровнены по высоте, недостаточно продуктивны по волокну, многие сильно полегали и поражались болезнями.

В коллекцию ВИР также поступали сорта льна-долгунца из зарубежных стран, они тоже поражались ржавчиной. В настоящее время коллекция льна-долгунца насчитывает 2485 образцов из 48 стран и является источником любых хозяйственно ценных признаков.

С 1970 г. нами проводилась оценка образцов коллекции на искусственном инфекционно-провокационном фоне, который ежегодно создавали по методике ВИР (Kutuzova, 2014). Оценку поражения материала проводили дважды – в уредостадии гриба на цветущих растениях и в телейтостадии – при уборке. Первую делали глазомерно, вторую – подсчитывая число восприимчивых растений с разной степенью поражения (по 4-балльной шкале) и вычисляя средневзвешенный балл поражения. По результатам оценки образцы делили на:

– иммунные (или устойчивые, без следов поражения);

– относительно устойчивые (или умеренно поражающиеся, не более 10% поражающихся растений или до 100% растений восприимчивых в слабой степени);

– восприимчивые (или сильно поражающиеся, с баллом поражения 3–4);

– гетерогенные, внутри которых есть как устойчивые, так и в разной степени поражающиеся растения.

Сильно поражающиеся образцы оценивали один год, умеренно поражающиеся – в течение трех лет, устойчивые – ежегодно (Kutuzova, 2014).

Результаты и обсуждение

В настоящее время оценена вся коллекция льна-долгунца (рисунок). Как видно из рисунка, подавляющая часть образцов, поступивших в коллекцию в 1922–1957 гг., поражалась ржавчиной в сильной степени. С годами снижался процент восприимчивых образцов и повышалось число поражающихся в средней степени. В настоящее время устойчивы к ржавчине или очень слабо поражаются 69% образцов.

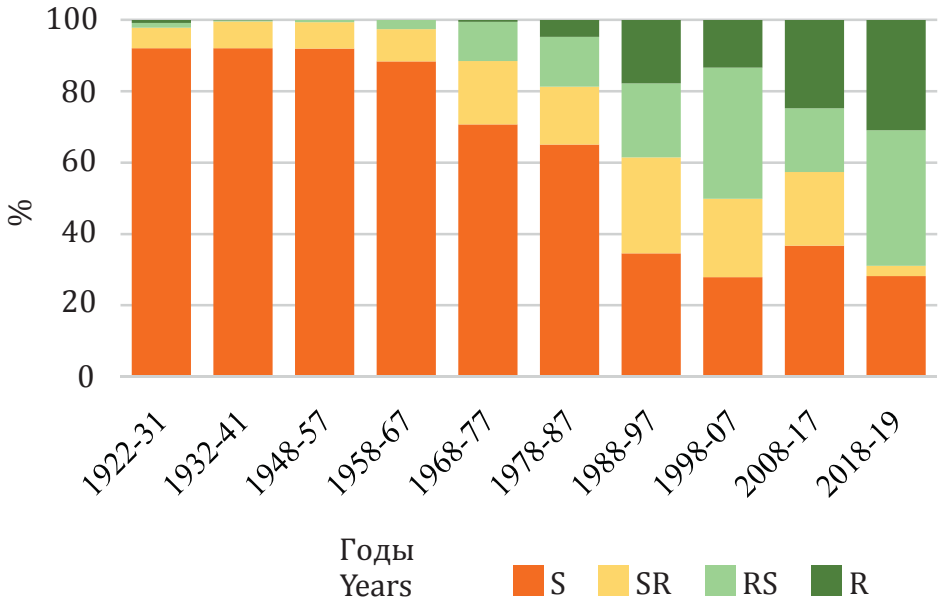


Рисунок. Оценка образцов коллекции льна-долгунца по устойчивости к ржавчине – процент от общего числа поступивших образцов (S – восприимчивые, SR – поражаются в средней степени, RS – относительно устойчивые, R – не поражаются)

Figure. Evaluation of accessions from the flax collection for their rust resistance – percentage of the total number of introduced accessions (S –susceptible, SR – affected to an average degree, RS – relatively resistant, R – not affected)

Из коллекции нами были выделены пять кряжей, не поражающихся этой болезнью, и созданный в ВИР сорт 'ГДС-3', сохранивший устойчивость до настоящего времени (табл. 1).

Также было обнаружено девять восприимчивых образцов, из которых удалось выделить слабо поражающиеся ржавчиной линии (табл. 2).

Позднее (1962–1975 гг.) в коллекцию поступили три относительно устойчивых зарубежных образца (табл. 3). У всех этих линий установили количество *R*-генов, их эффективность, оригинальность и локализацию большинства. Одноименные аллели не идентичны (Kutuzova, 1981, 2014; Kutuzova et al., 2019).

Именно эти генотипы можно считать золотым фондом устойчивости для селекции льна, поскольку они обладают оригинальными доминантными генами, возникшими до начала распространения селекционных сортов, то есть являются первоисточниками устойчивости. В 1986 г. выделенные линии были переданы селекционным учреждениям страны в качестве доноров устойчивости к ржавчине.

До появления в 1951 г. первого относительно устойчивого отечественного сорта 'Л-1120' почти все поступившие в коллекцию образцы, кроме пяти приведенных в таблице 1, поражались на инфекционном фоне сильно или очень сильно. Первые устойчивые к болезни селекционные сорта ('806/3', '1288/12', 'Светоч' и другие) были созданы методом индивидуального отбора из местных и кряжевых льнов. Они отличались устойчивостью к ржавчине, но сохраняли это качество менее 10 лет и ко времени нашей оценки сильно поражались.

Поступавшие в коллекцию иностранные сорта также поражались очень сильно. Первые относительно устойчивые сорта – 'Currong' (к-6608) из Австралии и 'Svalof' (к-6658) из Швеции – были получены в 1964 г., сорт 'Natasja' (к-7213) из Голландии – в 1975 г. Из этих сортов также были выделены чистые линии и определено число *R*-генов. В 1986 г. в коллекцию ВИР были включены девять линий – доноров устойчивости к ржавчине с установленным числом эффективных оригинальных *R*-генов. Однако они имели ряд нежелательных для селекции признаков (Kutuzova, 1987). Для создания доноров, обладающих комплексом важнейших хозяйственно ценных признаков, гены методом беккроссов были переведены в основу лучших в то время сортов – раннеспелого 'Призыв 81' и среднеспелого 'Оршанский 2'. Эти сорта обладают многими важными качествами, но в значительной степени поражаются *M. lini* (Kutuzova et al., 2000).

В 1989 г. в коллекцию были переданы доноры ВИР-1, ВИР-2 и ВИР-3 – аналоги сорта 'Оршанский 2' с эффективными в условиях нашей страны генами *P3*, *N* и *L3* соответственно, унаследованными от американских сортов масличного льна. В 1993 г. в сорт 'Оршанский 2' были переведены высокоэффективные гены описанных выше долгунцов и созданы доноры ВИР-6, ВИР-7, ВИР-8 (ген *M*), ВИР-9 и ВИР-10 (ген *M* или *P*). Доноры характеризуются среднеспелостью, хорошей семенной продуктивностью, высоким качеством волокна, устойчивостью к полеганию (Kutuzova et al., 2000). Доноры ВИР-4 и ВИР-5 с генами от кряжа из Псковской обл. к-729 и сорта 'ГДС-3' соответственно, созданные в то же время, являются аналогами сорта 'Призыв 81'. Для них характерны раннеспелость, высокие семенная продуктивность, содержание и качество волокна (Kutuzova, 2005).

Таблица 1. Линии из не поражающихся ржавчиной образцов коллекции льна-долгунца
Table 1. Lines selected from rust-resistant accessions in the fiber flax collection

Исходный образец / Initial accession			Линия / Line					
№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Год поступления в коллекцию / Year of acquisition	Номер / No.	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of development	Число *R*-генов / Number of *R* genes	% авирулентных клонов / % of avirulent clones	Вероятный локус / Probable locus
726	Солецкий кряж* / Soletskiy kryazh**	1923	6	7700	1986	2	100 ± 2,0	*M*
729	Псковский кряж / Pskovskiy kryazh	1923	4-1	7701	1986	2	100 ± 2,0	–
733	Псковский кряж / Pskovskiy kryazh	1923	4	7702	1986	1	100 ± 2,0	*M* или or *P*
744	Ярославский кряж / Yaroslavskiy kryazh	1923	4-1	7703	1986	2	100 ± 2,0	–
759	Ярославский кряж / Yaroslavskiy kryazh	1923	10-1	7704	1986	1	100 ± 2,0	–
5375	ГДС-3, Россия / GDS-3, Russia	1938	4-1	7705	1986	2	100 ± 2,0	–

* кряж – староместный российский сорт народной селекции.
** kryazh – an old Russian landrace evolved in the process of folk breeding.

Доноры – аналоги сорта ‘Призыв 81’ с *R*-генами от сортов ‘Svalof 60132’, ‘Natasja’, ‘Currong’ и кряжа из Ярославской обл. (к-759) – ВИР-12, ВИР-13, ВИР-14 (ген *Q*) и ВИР-18 соответственно, переданы в коллекцию в 2005 г. Аналоги сорта ‘Оршанский 2’: ВИР-11 (с геном от сорта ‘Currong’ – *N*, *P* или *K*), ВИР-15 (с геном от сорта ‘Svalof 60132’) и ВИР-16 (с геном *Q* от сорта ‘Natasja’) переданы в 2006 г. Доноры ВИР-17 (гены от сорта ‘Currong’ – *N*, *P* или *K*), ВИР-18 (ген от Ярославского кряжа к-759) и ВИР-19 (ген от Псковского кряжа к-733) на основе сорта ‘Призыв 81’ созданы в 2008 г. Все доноры при включении в коллекцию также передавали селекционным учреждениям страны.

В 1992, 1993 г. в коллекцию поступили также доноры устойчивости к ржавчине из Всероссийского НИИ льна (ВНИИЛ) – Г-3996 (к-7869), Г-5062 (к-7871), Г-3540 (к-7872), Г-4918 (к-7873), Г-3979 (к-7902), Г-4210 (к-7903), Г-4254 (к-7904), Г-4496 (к-7906). К сожалению, большая их часть защищена одним и тем же геном, унаследованным от сорта ‘Успех’ (Rozhmina, 1988). Этот ген идентичен гену Вотского кряжа (к-867л. 2-1) (см. табл. 2). Эти доноры, по нашим данным, отличаются высокой продуктивностью по волокну (Kutuzova, 2014).

Однако очень важно, чтобы сорт не поражался и другими распространенными в зоне возделывания льна болезнями. Учеными страны создан целый ряд генотипов, обладающих комплексной устойчивостью. Так, по нашим данным, слабо поражаются ржавчиной устойчивые к фузариозному увяданию линии ВНИИЛ Г-4729 (к-7870), Г-5062 (к-7871), Г-3540 (к-7872), Г-4918 (к-7873), Г-4496 (к-7906), Г-1407-4-18 (к-8007), Г-818-93-7 (к-8013), линии из сортов ‘Aoyagi’ к-6746) – к-7877 и ‘Двина’(к-7248) – к-7878 с высоким содержанием волокна. По данным ВНИИЛ (Rozhmina et al., 2002), донор устойчивости к ржавчине ВИР-7 (к-7883) обладает высокой устойчивостью к фузариозному увяданию. Слабо поражается ржавчиной созданный ВНИИЛ донор устойчивости к пасмо Л-42-7-1 (к-7876).

Одним из широко распространенных заболеваний льна является антракноз, который проявляется на образцах коллекции ежегодно. Устойчивость к нему встречается крайне редко и только частичная. В коллекциях ВИР и ВНИИЛ имеются только три относительно устойчивых к антракнозу образца: сорт льна-долгунца из Германии ‘Sinter’ (к-7353), линия из Литвы Б-14 (к-7618) и сорт масличного льна ‘Leona’ (к-6297), на основе которого во ВНИИЛ создано три донора: Г-82 (к-7692), Г-106 (к-7693)

Таблица 2. Слабо поражающиеся ржавчиной линии, выделенные из восприимчивых к болезни старомест-ных образцов льна-долгунца

Table 2. Lines weakly affected by rust, selected from susceptible accessions of fiber flax landraces

Исходный образец / Initial accession			Линия / Line					
№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Год поступления в коллекцию / Year of acquisition	Номер / No.	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of development	Число *R*-генов / Number of *R* genes	% авирулентных клонов / % of avirulent clones	Вероятный локус / Probable locus
467	Вологодская обл. / Vologda Province	1922	1-1	9	1986	1	99–100 ± 2	*M* или / or *K*
630	Симбирская губ. / Simbirsk Province	1922	4-1	25	1986	1	98 ± 2	*L?*
716	Псковский кряж* / Pskovskiy kryazh**	1923	2-1	32	1986	1	78 ± 9	*P*
780	Минская обл. / Minsk Province	1923	2-1	33	1986	1	84 ± 5,2	*P*
791	Гомельская обл. / Gomel' Province	1923	2-1	34	1986	1	98 ± 2,0	*P* или / or *K*
834	Владимирская обл. / Vladimir Province	1923	2-1-1	38	1986	1	96 ± 2,7	*K*
846	Иваново-Вознесенская обл. / Ivanovo-Voznesensk Province	1923	2-3-1	39	1986	1	94 ± 3,4	*M*
867	Вотский кряж / Votskiy kryazh	1923	1-2	40	1986	1	86 ± 4,9	*P* или / or *K*
944	Тюменская обл. / Tyumen Province	1923	5-1-3	46	1976	1	96 ± 2,7	*P* или / or *K*

* кряж – староместный российский сорт народной селекции.
** kryazh – an old Russian landrace evolved in the process of folk breeding.

и Эр-30 (к-7914) (Kurchakova, 2001, 2015). Донор устойчивости к ржавчине ВИР-1 также создан на основе сорта 'Leona' (*P3*), поэтому возможно, что среди создаваемых с его участием устойчивых к ржавчине гибридов льна могут быть генотипы с устойчивостью к антракнозу. По данным ВНИИЛ, сорт из Нидерландов 'Natasja' (ген *Q*) высокоустойчив к пасмо – опасному заболеванию льна (Kurchakova, 2015), поэтому, возможно, использование в селекции доноров устойчивости к ржавчине ВИР-14 и ВИР-16, созданных с его участием, позволит повысить также устойчивость сортов к пасмо. Линия 3-1 из шведского сорта 'Svalof 60132' (к-6658) также устойчива к пасмо, поэтому доноры ВИР-13 и ВИР-15, созданные с ее участием, могут способствовать повышению устойчивости созданных с их участием сортов.

После появления в 1951 г. сорта 'Л-1120', который слабо поражался ржавчиной на инфекционном фоне (сильно – при искусственном заражении), был относительно устойчив к фузариозному увяданию и полеганию, давал высокую урожайность семян и волокна с хорошей прочностью, селекционеры начали активно использовать его при создании новых сортов. Как было показано, устойчивость к ржавчине сорта 'Л-1120' обусловлена полимерными генами (Kutuzova, 1979), которые в значительной степени передавались потомству. Такая защита достаточно надежна и долговечна. С его участием в семи-

Таблица 3. Линии из устойчивых к ржавчине зарубежных образцов коллекции льна-долгунца
Table 3. Lines from rust-resistant foreign accessions of fiber flax

Исходный образец / Initial accession			Линия / Line					
№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Год поступления в коллекцию / Year of acquisition	Номер / No.	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of development	Число *R*-генов / Number of *R* genes	% авирулентных клонов / % of avirulent clones	Вероятный локус / Probable locus
6608	Currong (Австралия) / (Australia)	1964	3	7706	1986	3	100 ± 2,0	*N*, *P* и / and (или / or) *K*
6658	Svalof (Швеция) / (Sweden)	1964	3-1	7707	1986	2	100 ± 2,0	–
7213	Natasja Нидерланды) / (The Netherlands)	1976	4-1	7708	1986	1	100 ± 2,0	*Q*

десятые годы было создано 37 сортов льна-долгунца: 'ВНИИЛ-11', 'К-6', 'Лазурный', 'Могилевский', 'Оршанский 2', 'Призыв 81', 'Тверца' и других, устойчивых к ржавчине в средней степени, по мере распространения которых стало постепенно снижаться поражение этой болезнью посевов льна в стране.

Первый не поражающийся ржавчиной селекционный сорт 'Томский 16' (к-7694) был включен в коллекцию ВИР в 1986 г. Он отличается раннеспелостью, высокой урожайностью по семенам и волокну, сочетающейся с высоким качеством волокна, устойчивостью к фузариозному увяданию, полеганию, осыпанию семян. Не случайно этот сорт был многократно использован в дальнейшей селекции (Krepkov, 2000).

В девяностые годы в коллекцию поступили не поражающиеся ржавчиной сорта: 'А-94' и 'Ленок' селекции ВНИИЛ, сорт Томской опытной станции 'Томский 18' (к-8003), а также донор устойчивости к ржавчине ВНИИЛ Г-1781-4-18 (к-8009). С 2000 г. большая часть отечественных сортов льна-долгунца ржавчиной на инфекционном фоне не поражается.

С 2011 г. среди поступивших в коллекцию иностранных сортов не поражались возбудителем ржавчины французские – 'Agatha' (к-8492), 'Drakkar' (к-8493), 'Alizee' (к-8494), 'Eden' (8678), австралийский сорт 'Flag' (к-8770), китайские образцы – к-8514, к-8520, к-8523, к-8524, к-8669, к-8670, к-8690, к-8737–8739, к-8745, к-8747, к-8758–8760. Все китайские образцы отличаются исключительно высоким ростом, многие – высоковолокнистые с хорошим качеством волокна (Pavlov et al., 2015). Эти сорта также могут служить источниками и донорами устойчивости к *M. lini*.

Для широкого использования в производственных посевах имеется значительное число отечественных сортов льна-долгунца, устойчивых к фузариозному увяданию, ржавчине и полеганию, содержащих до 32% волокна с высокими прядильными свойствами: 'Зарянка' (к-8241), 'Альфа' (к-8347), 'Тверской' (к-8243), 'А-93' (к-7936), 'Ленок' (к-7940), 'Алексим' (к-7801), 'Росинка' (к-8348) и другие сорта селекции института льна; 'Восход' (к-8153), 'Антей' (к-8344), 'Кром' (к-7887) – Псковского НИИСХ; 'Тост' (к-8154), Тост 1 – Тост-4 (к-8244 – к-8247) – Томской опытной станции; 'Импульс' (к-8172) – Смоленской опытной станции, а также французские сорта 'Diane' (к-8289), 'Aurore' (к-8290), 'Venus' (к-8291) и нидерландский сорт 'Evelin' (к-8346). Разработаны технологии возделывания и защиты от сорняков, болезней и вредителей, создана высокоэффективная техника для возделывания и переработки культуры (Shindin et al., 2012).

Заключение

Из коллекции льна-долгунца нами было выделено пять русских кряжей и полученный в ВИР сорт 'ГДС-3', устойчивые к ржавчине до настоящего времени, а также созданы 19 доноров с комплексом хозяйственно ценных признаков. Другие селекционные учреждения также внесли большой вклад в комплексную устойчивость льна. Таким образом, селекционеры страны имеют богатый исходный материал для селекции устойчивых к возбудителю ржавчины сортов. Использование таких доноров в гибридизации при селекции сортов не может вызвать ухудшения важнейших свойств сорта и позволяет быстро ввести гены устойчивости к болезни.

Наличие большого количества необрабатываемых сельскохозяйственных угодий, благоприятных для льна-долгунца климатических условий Северо-Западного региона РФ, особенно Ленинградской области («белые ночи», умеренные температуры, достаточная влажность), и устойчивости современных сортов к большинству болезней способствует формированию растений с высоким содержанием и качеством волокна. Учитывая ценность льняного волокна, его уникальные гигиенические свойства и высокую стоимость на мировом рынке, наличие замечательных отечественных сортов и полностью механизированных технологий возделывания и переработки, лен-долгунец может быть исключительно доходной культурой.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0001 «Коллекция масличных и прядильных культур ВИР: поддержание, изучение, расширение генетического разнообразия», номер государственной регистрации AAAA-A19-119013090159-5.

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0001 "The Collection of Oil and Fiber Crops at VIR: Maintenance, Study, and Genetic Diversity Expansion", State Registration No. AAAA-A19-119013090159-5.

References/Литература

Agriculture in Russia: Supplement to the compendium (Selskoye khozyaystvo v Rossii. Prilozheniye k sborniku). Federal State Statistic Service. Moscow; 2019. [in Russian] (Сельское хозяйство в России. Приложение к сборнику. Федеральная служба государственной статистики. Москва; 2019. URL: https://www.gks.ru/folder/210/document/13226 [дата обращения: 20.02.2020].

Krepkov A.P. Fiber flax breeding in Siberia: a monograph (Selektsiya lna-dolguntsa v Sibiri: monografiya). Tomsk: Tomsk State University; 2000. [in Russian] (Крепков А.П. Селекция льна-долгунца в Сибири: монография. Томск: ТГУ; 2000).

Kurchakova L.N. The genetic potential of the VNIIL flax collection for the resistance to major fungal diseases (Geneticheskiy potentsial kollektsii lna VNIIL po ustoychivosti k osnovnym gribnym zabolevaniyam). In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Genetic Resources of Cultivated Plants"* (*Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Geneticheskiye resursy kulturnyh rasteniy"*). St. Petersburg; 2001. p.327-328. [in Russian] (Курчакова Л.Н. Генетический потенциал коллекции льна ВНИИЛ по устойчивости к основным грибным заболеваниям. В кн.: *Материалы международной научно-практической конференции «Генетические ресурсы культурных растений».* Санкт-Петербург; 2001. С.327-328).

Kurchakova L.N. Environmental and genetic bases of flax breeding for the resistance to *Septoria*: a monograph (Ekologo-geneticheskiye osnovy selektsii lna na ustoychivost k septoriozu: monografiya). Tver: Tver State University; 2015. [in Russian] (Курчакова Л.Н. Эколого-генетические основы селекции льна на устойчивость к септориозу: монография. Тверь: Тверской госуниверситет; 2015).

Kutuzova S.N. Donors of rust resistance (Donory ustoychivosti k rzhavchine). *Len i konoplya = Flax and Hemp*. 1987;6:33-35. [in Russian] (Кутузова С.Н. Доноры устойчивости к ржавчине. *Лен и конопля*. 1987;6:33-35).

Kutuzova S.N. Fiber flax donors of rust resistance (Donory ustoychivosti lna-dolguntsa k rzhavchine). In: *Identified Plant Genetic Diversity and Breeding* (*Identifitsirovanny genofond rasteniy i selektsiya*). St. Petersburg; 2005. p.389-405. [in Russian] (Кутузова С.Н. Доноры устойчивости льна-долгунца к ржавчине. В кн: *Идентифицированный генофонд растений и селекция.* Санкт-Петербург; 2005. С.389-405).

Kutuzova S.N. Genes of rust resistance for fiber flax breeding (Geny ustoychivosti k rzhavchine dlya selektsii lna-dolguntsa). *Byulleten VIR. Tekhnicheskiye kultury = Bulletin of VIR. Industrial Crops*. 1981;3-6. [in Russian] (Кутузова С.Н. Гены устойчивости к ржавчине для селекции льна-долгунца. *Бюллетень ВИР. Технические культуры*. 1981;3-6).

Kutuzova S.N. Genetic bases of flax breeding for rust resistance (Geneticheskiye osnovy selektsii lna na ustoychivost k rzhavchine). St. Petersburg; 2014. [in Russian] (Кутузова С.Н. Генетические основы селекции льна на устойчивость к ржавчине. Санкт-Петербург; 2014).

Kutuzova S.N. Genetic basis of resistance to *Melampsora lini* (Pers.) Lev., the agent of flax rust, in domestic varieties of fibre flax. *Agricultural Biology*. 2012,5:70-77. [in Russian] (Кутузова С.Н. Генетическая природа устойчивости отечественных сортов льна-долгунца к возбудителю ржавчины *Melampsora lini* (Pers). Lev. *Сельскохозяйственная биология*, 2012;5:70-77). DOI: 10.15389/agrobiology.2012.5.70rus

Kutuzova S.N. Resistance of released flax varieties to rust (Ustoychivost rayonirovannykh sortov lna-dolguntsa k rzhavchine). *Len i konoplya = Flax and Hemp*. 1979;2:13-15. [in Russian] (Кутузова С.Н. Устойчивость районированных сортов льна-долгунца к ржавчине. *Лен и конопля*. 1979;2:13-15).

Kutuzova S.N., Brutch N.B., Porokhovinova E.A., Nizova G.K., Sharov I.Ya., Krat T.E. et al. Catalogue of the VIR global collection. Issue 714. Donors of agronomical characters for fiber flax breeding. St. Petersburg: VIR; 2000. [in Russian] (Кутузова С.Н., Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Низова Г.К., Шаров И.Я., Крат Т.Е. и др. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 714. Доноры хозяйственно ценных признаков для селекции льна-долгунца. Санкт-Петербург: ВИР; 2000).

Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. Localization of rust resistance genes in old local Russian flaxes by methods of classical genetics. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):650-655. DOI: 10.18699/vj19.537

Pavlov A.V., Brutch N.B., Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N. Fibre flax accessions of Chinese breeding as sources of valuable agronomic characters. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):68-75. [in Russian] (Павлов А.В., Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н. Образцы льна-долгунца китайской селекции как источники хозяйственно-ценных признаков. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(1):68-75). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-68-75

Rozhmina T.A. Flax sources of rust resistance and their donor properties (Istochniki ustoychivosti lna-dolguntsa k rzhavchine i ikh donorskiye svoystva). *Sbornik nauchnykh trudov VNIIL = Collection of Scientific Papers of the Flax Research Institute*. 1988;25:35-38. (Рожмина Т.А. Источники устойчивости льна-долгунца к ржавчине и их донорские свойства. *Сборник научных трудов ВНИИЛ*. 1988;25:35-38).

Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Uschapovskiy I.V., Kurchakova L.N., Baskakov V.A., Kiseleva T.S. National collection of Russian flax and main trends of using the crop gene pool in breeding process (Natsionalnaya kollektsiya russkogo lna i osnovnye napravleniya ispolzovaniya genofonda kultury v selektsionnom protsesse). In: *Fiber Flax Breeding, Seed Production and Agricultural Practice* (*Selektsiya, semenovodstvo i agrotekhnika lna-dolguntsa*). Torzhok; 2002. p.72-81. [in Russian] (Рожмина Т.А., Жученко А.А., Ущаповский И.В.,

Курчакова Л.Н., Баскаков В.А., Киселева Т.С. Национальная коллекция русского льна и основные направления использования генофонда культуры в селекционном процессе. В кн: *Селекция, семеноводство и агротехника льна-долгунца*. Торжок; 2002. С.72-81).

Shindin A.P., Zakharova L.M., Tikhomirova V.Ya., Pavlova L.N., Rozhmina T.A. Flax. Technologies of cultivation and protection against harmful organisms (Len. Tekhnologii vozdelyvaniya i zashchity ot vrednykh organizmov). Moscow; 2012. [in Russian] (Шиндин А.П., Захарова Л.М., Тихомирова В.Я., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А. Лен. Технологии возделывания и защиты от вредных организмов. Москва; 2012).

Vavilov N.I. Plants' immunity to infectious diseases (Immunitet rasteniy k infektsionnym zabolevaniyam). *Izvestiya Petrovskoy selskokhozyaystvennoy akademii = News of Petrovskaya Agricultural Academy*. 1918;1-4. [in Russian] (Вавилов Н.И. Иммунитет растений к инфекционным заболеваниям. *Известия Петровской сельскохозяйственной академии*. 1918;1-4).

Zhivetin V.V., Ginsburg L.N., Olshanskaya O.M. Flax and its complex utilization (Len i yego kompleksnoye ispolzovaniye). Moscow; 2002. [in Russian] (Живетин В.В., Гинсбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. Москва; 2002).

Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A., Ponazhov L.N., Pavlova L.N., Tikhomirova V.Ya., Sorokina O.Yu. Ecogenetic bases of fiber flax breeding (Ekologo-geneticheskiye osnovy selektsii lna-dolguntsa). Tver; 2009. [in Russian] (Жученко А.А., Рожмина Т.А., Понажов В.П., Павлова Л.Н., Тихомирова В.Я., Сорокина О.Ю. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь; 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

Кутузова С.Н. , Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В. Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):57-64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64

Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. Worldwide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):57-64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64

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/10.30901/2227-8834-2020-2-57-64

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Kutuzova S.N. https://orcid.org/0000-0002-6292-1476
Porokhovinova E.A. https://orcid.org/0000-0002-8328-9684
Brutch N.B. https://orcid.org/0000-0003-2253-6263
Pavlov A.V. https://orcid.org/0000-0002-5098-4904

Химический состав плодов черемухи в условиях Северо-Западного региона России

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-65-72
УДК 630*17:582.734.6:581.192(470.2)
Поступление/Received: 03.02.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

CC BY

Chemical composition of bird cherry fruits in the Northwestern region of Russia

С. Ю. ОРЛОВА, А. А. ЮШЕВ, Т. В. ШЕЛЕНГА

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

S. YU. ORLOVA, A. A. YUSHEV, T. V. SHELENGA

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
s.orlova@vir.nw.ru

Актуальность. Среди косточковых плодовых растений особое место принадлежит черемухе (*Padus* Mill.). Как пищевое растение она нашла использование на территориях с суровыми климатическими условиями. Поскольку селекция пищевых сортов черемухи продолжает развиваться, необходимы знания химического состава плодов. Цель исследования – изучение черемухи в условиях Северо-Западного региона России и выделение генотипов с оптимальным биохимическим составом для последующего использования. **Материалы и методы.** Изучение состава плодов 21 образца из коллекции черемухи проводили в 2009, 2011–2013 гг. в лаборатории биохимии и молекулярной биологии Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). При выполнении биохимических исследований использовали принятые в ВИР методики. Статистическую обработку выполняли с использованием пакета программ Microsoft Excel. **Результаты.** Выделены генотипы с оптимальными химическими показателями: высоким содержанием растворимых сухих веществ (РСВ) – образцы I группы 'Невеста' (29,63%), 1-1-8 (30,35), 'Карпаты 5' (30,87), 'Чайка' (33,9); накоплением сахаров – 'Гранатовая гроздь' (III гр.; 12,13%), 1-1-8 (I гр.; 12,5), 'Памяти Саламатова' (IV гр.; 12,8); низкими показателями кислот – 'Сибирская красавица' (II гр.; 1,03%), 1-1-8 (I гр.; 1,14), 'Гранатовая гроздь' (III гр.; 1,17), 'Зеленоплодная' (I гр.; 1,21), 'Поздняя радость' (III гр.; 1,25); высоким содержанием аскорбиновой кислоты – 1-1-8 (I гр.; 19,1 мг/100 г), 'Сахалинская черная' (I гр.; 19,35), 'Ранняя круглая' (IV гр.; 20,65), 'Красный шатер' (II гр.; 21,23) и тритерпеновых (урсоловой, олеаноловой) кислот – 'Черный блеск' (IV гр.; 0,045%), 'Atica' (I гр.; 0,056). **Заключение.** Достоверные различия при $p < 0,05$ установлены по РСВ между образцами I (*P. avium*) и II (*P. avium* × *P. virginiana)*; по сахаро-кислотному индексу между I (*P. avium*) и IV (Сеянцы сорта 'Памяти Саламатова'); II (*P. avium* × *P. virginiana)* и III (*P. virginiana* × *P. avium*); III (*P. virginiana* × *P. avium*) и IV (Сеянцы сорта 'Памяти Саламатова') групп.

Ключевые слова: образец, растворимые сухие вещества (РСВ), сахара, органические кислоты, сахаро-кислотный индекс (СКИ), аскорбиновая кислота.

Background. Among stone fruit plants, a special place belongs to bird cherry (*Padus* Mill.). As a food plant, it has found use in areas with harsh climate conditions. Since the breeding of bird cherry cultivars for food purposes continues to develop, there is a need to know the chemical composition of its fruits. The aim of this research was to study bird cherry in the environments of the Russian Northwest and isolate genotypes with an optimal biochemical composition for subsequent use. **Materials and methods.** Fruit composition in 21 accessions from the bird cherry collection was analyzed in 2009 and 2011–2013 at the Biochemistry and Molecular Biology Laboratory of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). Biochemical studies were performed using the methods adopted at VIR. Statistical processing of the data obtained was made using the Microsoft Excel software package. **Results**. The best genotypes were selected for each chemical component: for increased soluble solid content (SSC), accessions of Group I 'Nevesta' (29.63%), 1-1-8 (30.35), 'Carpaty 5' (30.87), 'Chaika' (33.9); for accumulation of sugars, 'Granatovaya grozd' (Group III; 12.13%), 1-1-8 (Gr. I; 12.5), 'Pamyati Salamatova' (Gr. IV; 12.8); for low acid content, 'Sibirskaya krasavitsa' (Gr. II; 1.03%), 1-1-8 (Gr. I; 1.14) 'Granatovaya grozd' (Gr. III; 1.17), 'Zelenoplodnaya' (Gr. I; 1.21), 'Pozdnyaya radost' (Gr. III; 1.25); for high content of ascorbic acid, 1-1-8 (Gr. I; 19.1 mg/100 g), 'Sakhalinskaya chernaya' (Gr. I; 19.35) 'Rannyaya kruglaya' (Gr. IV; 20.65), 'Krasny shater' (Gr. II; 21.23); for triterpene (ursolic, oleanolic) acids, 'Cherny blesk' (Gr. IV; 0.045%) and 'Atica' (Gr. I; 0.056). **Conclusion**. Significant differences were found in SSC between accessions of Groups I (*P. avium*) and II (*P. avium* × *P. virginiana*); and in the sugar/acid ratio (SAR), between I (*P. avium*) and IV (seedlings of cv. 'Pamyati Salamatova'); II (*P. avium* × *P. virginiana*) and III (*P. virginiana* × *P. avium*); III (*P. virginiana* × *P. avium*) and IV (seedlings of cv. 'Pamyati Salamatova').

Key words: accession, soluble solid content (SSC), sugars, sugar/acid ratio (SAR), organic acids, ascorbic acid.

Введение

Среди косточковых плодовых растений особое место принадлежит черемухе (*Padus* Mill.). Не имея большого практического использования в садоводстве, кроме как декоративного, она широко распространена в естественных условиях, а известный вид *P. avium* Mill. – черемуха обыкновенная (кистевая) – произрастает от западных границ России до самых восточных ее окраин. Другой вид – *P. virginiana* L. – является в России интродуцентом

из Северной Америки; он издавна широко используется в озеленении населенных пунктов.

Черемуха как пищевое растение нашла использование на территориях с суровыми климатическими условиями, преимущественно в Западной Сибири. В селекционном отношении черемуха затронута мало. Одним из учреждений в России, которое целенаправленно использовало черемуху обыкновенную и виргинскую в селекции, – это Центральный Сибирский ботанический сад Сибирского отделения РАН, где с 1971 г. были отобраны лучшие формы черемухи обыкновенной и осуществлены скрещивания с черемухой виргинской на пищевые и декоративные признаки. В результате этой работы были получены новые гибридные формы, как межвидовые (гибридные сорта F_1), так и в пределах одного вида.

Поскольку селекция пищевых сортов черемухи продолжает развиваться и совершенствоваться, необходимы знания химического состава плодов. *Целью нашего исследования* было изучение плодов черемухи в условиях Северо-Западного региона России и выделение генотипов с биохимическим составом, оптимальным для пищевого, в том числе лечебно-профилактического использования.

Материалы и методы.

Изучение химического состава плодов черемухи проводили в 2009, 2011–2013 гг. в лаборатории биохимии и молекулярной биологии Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Объектами исследований служил 21 образец четырех групп различного происхождения (табл. 1) генофонда черемухи научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-

Таблица 1. Список изученных образцов черемухи
Table 1. The list of the studied bird cherry accessions

Группа по происхождению	Название образца (сорта)	№ по каталогу ВИР	Учреждение-оригинатор
I *Padus avium* Mill.	Atica	42311	Россия
	Зеленоплодная	42104	Мичуринск, НИИС
	Карпаты 5	42309	Экспедиционный сбор, Западная Украина, Ужгород
	Невеста	42113	Крымская ОСС ВИР
	Сахалинская устойчивая	42287	Новосибирск, ЦС Ботанический сад СО РАН
	Сахалинская черная	42288	«
	Теньки 5	42316	Экспедиционный сбор, Татарстан
	Чайка	42112	Крымская ОСС ВИР
	1-1-8	42291	Новосибирск, ЦС Ботанический сад СО РАН
	P. avium (St)		
II *P. avium* × *P. virginiana*	Красный шатер	42292	Новосибирск, ЦС Ботанический сад СО РАН
	Пурпурная свеча	42293	«
	Сибирская красавица	42289	«
III *P. virginiana* × *P. avium*	Августина	42101	«
	Гранатовая гроздь	42102	«
	Памяти Саламатова	42106	«
	Поздняя радость	42107	«
IV (*P. virginiana* × *P. avium*) (Сеянцы сорта Памяти Саламатова)	Плотнокистная	42108	«
	Ранняя крупная	42109	«
	Самоплодная	42110	«
	Черный блеск	42111	«

Петербург, Павловск). Исследования проведены по принятым в ВИР методикам (Ermakov et al., 1987; Samorodova-Bianki, Streltsina, 1989, Shelenga et al., 2012). Статистическую обработку полученных данных выполняли с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В результате исследования химического состава плодов черемухи установлена сортовая изменчивость по всем идентифицированным компонентам.

Плоды черемухи характеризуются устойчиво высоким содержанием сухих веществ. Максимальный уровень накопления растворимых сухих веществ (РСВ) отмечен у образцов I группы (табл. 2). Высокие значения этого показателя имели образцы: 'Невеста' (29,63%), 1-1-8 (30,35%), 'Карпаты' (30,87%) и 'Чайка' (33,9%), что по отношению к контролю составляет 94,2, 96,5 98,2 и 107,79% соответственно. Самое низкое содержание РСВ в данной группе по сравнению с контролем отмечен у черемухи 'Зеленоплодная' (25,89%) – 82,32%, минимальный – у образцов II группы.

В образцах III и IV групп количество РСВ было примерно одинаковым, 26,99–27,64 и 25,59–27,74%; диапазоны изменчивости показателя – 24,94–30,09 и 19,1–30,81 соответственно. Только у сорта 'Памяти Саламатова' (III гр.) уровень РСВ составил 29,34%.

В условиях Северо-Запада России содержание РСВ в плодах в среднем по группам составило: 24,1% (II гр.) – 29,32% (I гр.) при варьировании от 19,1% (IV гр.) до 37,66% (I гр.) и коэффициенте вариации 5,05 (II гр.) – 12,45 (IV гр.) (табл. 3).

Это несколько ниже результатов, приводимых в литературе. Так, в условиях Центрально-Черноземного региона количество РСВ варьировало от 22,6 ('Сахалинская черная') до 38,6% ('Гранатовая гроздь') (Antsiferov, 2004). По данным В. С. Симагина (Simagin, 2008), в условиях Западно-Сибирского региона плоды черемухи содержали от 23,0 ('Самоплодная') до 37,7% ('Черный блеск') РСВ.

Фракционный состав сахаров был представлен моно- и олигосахарами (ди- и трисахара) (рис. 1). Основную долю сахаров составили моносахара. Из 11 идентифицированных моносахаров лучше всего были представлены глюкоза (4,06–8,64 %) и фруктоза (1,88–3,13%). Более низкий уровень накопления установлен для галактозы (0,097–2,49%), маннозы (0,01–1,07%) и сорбозы – 0,007 ('Зеленоплодная') – 0,113% ('Памяти Саламатова'). Содержание ксилозы, арабинозы, рибозы, альтрозы, рамнозы и ликсозы в плодах черемухи не превышало 0,08%.

Суммарное содержание олигосахаров составило от 0,018 ('Зеленоплодная') до 1,12% ('Плотнокистная'). Из четырех идентифицированных олигосахаридов преобладала сахароза: ее показатели варьировали от 0,08 ('Гранатовая гроздь') до 1,0% ('Плотнокистная'). Меньшими количествами была представлена рутиноза: 0,005 ('Гранатовая гроздь') – 0,11% ('Ранняя круглая') Показатели мальтозы в плодах образцов 'Поздняя радость' составили 0,009, 'Ранняя круглая' – 0,12%. Содержание рафинозы было незначительным – 0,002 ('Atica') и 0,01% (1-1-8).

Сумма сахароспиртов изменялась от 1,02 ('Памяти Саламатова') до 3,48% ('Невеста'). Среди сахароспир-

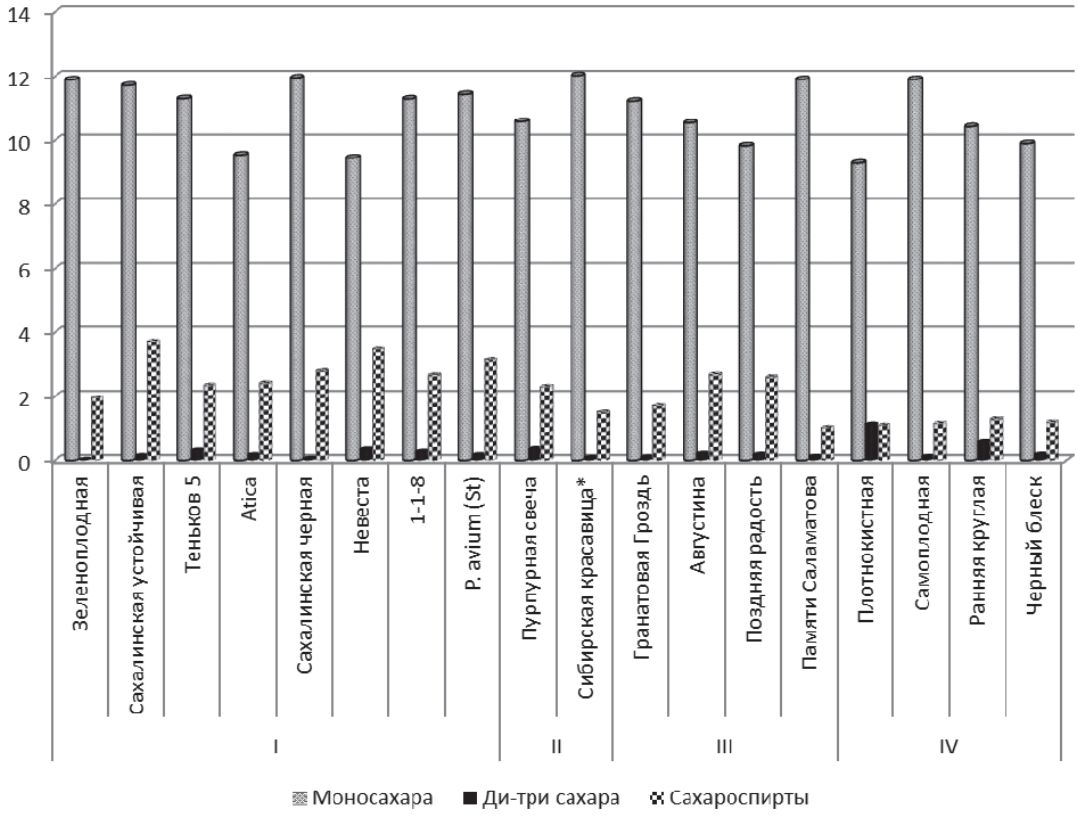


Рис. 1. **Соотношение содержания моно-, ди- и трисахаров и сахароспиртов в плодах черемухи**

Fig. 1. **Ratios of mono-, di- and trisaccharides and sugar alcohols in bird cherry fruits**

Таблица 2. Химический состав плодов черемухи (лаборатория биохимии и молекулярной биологии, ВИР; 2009, 2011–2013 гг.)

Table 2. Chemical composition of bird cherry fruits (Biochemistry and Molecular Biology Lab, VIR; 2009, 2011–2013)

Генетическая группа	Образец	Сухой вес, %	Сахара, %	Титруемая кислотность, %	Сахаро-кислотный индекс	Аскорбиновая кислота, мг/100 г
1	2	3	4	5	6	7
P. avium	Зеленоплодная	25,89 ± 0,71	12,25 ± 0,19	1,21 ± 0,13	10,59 ± 1,5	9,18 ± 0,93
	Сахалинская устойчивая	27,24 ± 1,23	11,87 ± 0,07	1,35 ± 0,05	8,83 ± 0,25	13,27 ± 2,96
	Теньков 5	27,4 ± 2,76	11,6 ± 0	1,4 ± 0	8,29 ± 0	14,3 ± 6,4
	Atica	27,76 ± 0,94	9,7 ± 0,1	1,6 ± 0	6,07 ± 0,06	18,4 ± 1,4
	Сахалинская черная	28,73 ± 2,06	12 ± 0	1,3 ± 0	9,23 ± 0	19,35 ± 3,35
	Невеста	29,63 ± 0,93	10,1 ± 0,33	1,92 ± 0,04	5,28 ± 0,07	18,2 ± 1,45
	1-1-8	30,35 ± 1,75	12,5 ± 0,9	1,14 ± 0,035	10,95 ± 0,45	19,1 ± 6,3
	Карпаты	30,87 ± 1,36	10,9 ± 0,5	1,65 ± 0,05	6,61 ± 0,1	18,8 ± 4
	***P. avium* (St)**	**31,45 ± 1,81**	**12,2 ± 0,37**	**1,32 ± 1,4**	**9,12 ± 0,39**	**19,5 ± 11,35**
	Чайка	33,9 ± 1,97	9,95 ± 0,15	1,49 ± 0,05	6,69 ± 0,13	18,33 ± 1,2
	$НСР_{0,05}$	**4,22**	**0,46**	**0,12**	**1,42**	**8,67**
P. avium* × *P. virginiana	Пурпурная свеча	24,37 ± 0,45	11,13 ± 0,07	1,66 ± 0,14	6,13 ± 0,24	17 ± 4,2
	Красный шатер	25,36 ± 1,0	11,27 ± 0,64	1,43 ± 0,05	7,89 ± 0,32	21,23 ± 5,6
	Сибирская красавица*	22,58	12,4	1,03	12	6,9
	$НСР_{0,05}$	**3,06**	**1,78**	**0,39**	**1,08**	**2,04**
P. virginiana* × *P. avium	Гранатовая Гроздь	26,99 ± 1,37	12,13 ± 0,93	1,17 ± 0,03	10,45 ± 1,12	15,57 ± 3,62
	Августина	27,01 ± 0,54	11,03 ± 0,23	1,4 ± 0,15	8,02 ± 0	16,8 ± 4,02
	Поздняя радость	27,64 ± 1,22	10,6 ± 0,6	1,25 ± 0,04	8,9 ± 0	15,06 ± 3,78
	Памяти Саламатова	29,34 ± 0,54	12,8 ± 0,8	1,44 ± 0,04	8,85 ± 0,28	15,7 ± 2,2
	$НСР_{0,05}$	**2,16**	**1,06**	**0,38**	**2,96**	**1,34**

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Генетическая группа	Образец	Сухой вес, %	Сахара, %	Титруемая кислотность, %	Сахаро-кислотный индекс	Аскорбиновая кислота, мг/100 г
1	2	3	4	5	6	7
P. virginiana* × *P. avium	Плотнокистная	25,59 ± 1,24	10,6 ± 0,6	1,33 ± 0,03	7,83 ± 0,19	16,68 ± 4,86
(Сеянцы сорта Памяти Саламатова)	Самоплодная	26,27 ± 2,48	10,7 ± 0,27	1,36 ± 0,03	7,85 ± 0,026	16,18 ± 2,19
	Ранняя круглая	27,28 ± 1,08	11,33 ± 0,33	1,66 ± 0,024	6,72 ± 0,2	20,65 ± 2,9
	Черный блеск	27,74 ± 2,14	10,2 ± 0,25	1,62 ± 0,18	6,93 ± 0,03	16,43 ± 1,91
	$НСР_{0,05}$	**5,14**	**0,96**	**0,09**	**0,37**	**9,57**

Таблица 3. Варьирование химических признаков плодов черемухи по группам
Table 3. Variations in chemical characteristics of bird cherry fruits by groups of accessions

Показатель Группа	Среднее значение, x±m				Диапазон изменчивости, min....max.				Коэффициент вариации, V, %			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
РСВ,%	29,32±1,56	24,1±0,73	27,75±0,92	26,72±1,74	24,2...37,66	22,58...27,08	24,94...30,09	19,1...30,81	8,33	5,05	5,77	12,45
∑ сахаров, %	11,35±0,26	11,6±0,36	11,64±0,64	10,71±0,43	9,6...13,4	10...12,4	10...14,4	9,73...12,0	3,52	5,42	9,42	5,55
Титруемая кислотность,%	1,31±0,05	1,28±0,09	1,32±0,07	1,49±0,81	0,84...1,99	1,03...1,66	1,1...1,7	1,3...1,98	6,66	10,33	8,52	7,73
СКИ	8,17±0,37	8,67±0,28	9,06±0,67	7,33±0,11	5,21...15,2	5,89...12	6,8...12,7	6,47...8,4	6,09	6,84	12,44	3,04
АК, мг/100 г	16,84±3,29	15,04±3,27	15,78±3,41	17,49±2,97	6,4...42,1	6,9...33,1	8,01...22,8	9,2...26,9	36,25	46,09	37,44	33,37

тов преобладали маннитол – от 0,2 ('Памяти Саламатова') до 2,76% ('Сахалинская черная'), сорбитол – от 0,15 ('Ранняя круглая') до 1,37% ('Сахалинская устойчивая') и дульцитол – от 0,12 (1-1-8) до 0,89% ('Зеленоплодная'). Количество инозитола и арабинитола не превышало 0,056% ('Невеста'). Следы эритритола найдены в плодах черемухи 'Atica', 'Зеленоплодная' (I гр.); 'Пурпурная свеча', 'Сибирская красавица' (II); во всех образцах III гр.; 'Плотнокистная', 'Ранняя Крупная', 'Самоплодная' (IV). Ксилитол обнаружен в плодах пяти образцов от следовых количеств 'Теньков 5', 'Невеста' (I) до 0,008% 'Черный блеск' (IV). Галактинол присутствовал только в плодах у образца 1-1-8 (I гр.).

Проведенные исследования показали, что высоким содержанием сахаров и сахароспиртов (> 10%) характеризуются плоды 90,48% образцов. Только у образцов 'Atica' и 'Чайка' I группы содержание было 9,7 и 9,95%, соответственно. В плодах контрольного образца *P. avium* данные показатели составили 12,2%.

Средние значения содержания сахаров для исследуемых групп были примерно одинаковыми: 10,71% (IV гр.) – 11,64% (III гр.) с диапазоном изменчивости 9,73–12,0 и 10–14,4 при незначительном коэффициенте вариации 5,55 и 9,42% соответственно.

Сравнивая полученные нами данные по содержанию сахаров в плодах черемухи с литературными, можно отметить, что они выше на 2–5,3%, чем в условиях Центрально-Черноземного региона (Antsiferov, 2004), и ниже на 1,77–3,5%, чем в Западно-Сибирском регионе (Simagin, 2008).

В плодах черемухи, был определен качественный и количественный состав органических и свободных жирных (СЖК), а также свободных аминокислот. Идентифицировали девятнадцать органических кислот (титруемая кислотность). Сумма органических кислот варьировала от 1,14 (1-1-8) до 1,92% ('Невеста'). Основными органическими кислотами для черемухи являлись яблочная – от 0,242 ('Сахалинская устойчивая') до 0,749% ('Ранняя круглая') – и лимонная кислоты – от 0,034 ('Черный блеск') до 0,375% ('Красный шатер'). Также были определены: аконитовая, молочная, 2- и 3-гидроксипропионовая, малоновая, малеиновая, винная, рибоновая, глицериновая, сахарная, эритроновая, никотиновая и бензойная кислоты. Их содержание варьировало от 0,001 до 0,010%. Содержание треоновой кислоты составило от 0,010 ('Atica') до 0,055% ('Ранняя круглая', 'Черный блеск'). Идентифицированы глюконовая, глюкуроновая и галактуроновая кислоты, участвующие в биосинтезе пектиновых веществ. Показатели глюконовой и глюкуроновой кислот варьировали от 0,001 ('Августина', 'Черный блеск') до 0,014% ('Atica'). Галактуроновая определялась только в образцах 'Atica' (0,001), 'Черный блеск' (0,004), 'Сахалинская черная', 'Невеста' (0,005) и 'Памяти Саламатова' (0,010%).

Содержание свободных жирных кислот (СЖК) варьировало от 0,029 ('Памяти Саламатова') до 0,110% ('Зеленоплодная'). Из четырех идентифицированных СЖК преобладала вакценовая кислота с содержанием от 0,011 ('Памяти Саламатова') до 0,091% ('Зеленоплодная'). Из трех идентифицированных свободных аминокислот в образцах черемухи преобладал оксипролин – от 0,001 ('Зеленоплодная', 'Ранняя круглая') до 0,010% ('Красный шатер'). Количество валина варьировало от 0,001 ('Черный блеск', 'Августина', 'Невеста') до 0,003% ('Сахалинская черная', 1-1-8). Серин присутствовал только в плодах *P. avium*, 'Ранняя круглая', 'Памяти Саламатова' (0,001%), 'Сибирская красавица' (0,002) и 'Красный шатер' (0,006).

В ходе работы были идентифицированы тритерпеновые кислоты: олеаноловая (0,001–0,012%) и урсоловая (0,008–0,044%). Эти соединения обладают выраженным антиканцерогенным и противомикробным действием. Включение в ежедневный рацион плодов с высоким содержанием олеаноловой и урсоловой кислот может стать одним из лечебно-профилактических мер для предупреждения ряда опасных заболеваний, включая онкологию (Castrejón-Jiménez, 2019). В связи с этим из исследованных нами были выделены образцы с наиболее высокими показателями олеаноловой – 'Черный блеск' (0,009%), 'Atica' (0,012%) – и урсоловой кислот – 'Самоплодная' (0,031%), 1-1-8 (0,034%), 'Плотнокистная', 'Черный блеск' (0,036 %), 'Ранняя круглая' (0,037 %), 'Atica' (0,044 %).

Средние значения содержания органических кислот для разных групп образцов (см. табл. 3) были примерно одинаковыми и составляли 1,28 (II гр.) – 1,49 (IV) с диапазоном изменчивости 1,03–1,66 и 1,3–1,98 соответственно при незначительном коэффициенте вариации 6,66–0,33%.

По данным А. В. Анциферова (Antsiferov, 2004), Н. В. Хромова и Т. Е. Бочаровой (Khromov, Bocharova, 2014), в условиях Центрально-Черноземного региона сумма органических кислот в плодах черемухи может находиться в пределах 0,4–0,88%. Наши результаты несколько выше и согласуются с данными, полученными другими авторами (Petrova, 1987; Isachkin, Vorobyev, 2001; Vitkovsky, 2003; Simagin, 2008).

Средние значения СКИ составили для разных групп образцов от 7,33 (IV гр.) до 9,06% (III гр.) с размахом варьирования 5,21–12,7 и незначительным коэффициентом вариации 3,04 (IV гр.)–12,44% (III гр.). Следует отметить, что в целом изучаемые образцы (80,9%) характеризовались невысоким СКИ. Относительно высокий СКИ (> 10) отмечен у образцов 'Зеленоплодная', 1-1-8 (I гр.), 'Сибирская красавица' (II гр.) и 'Гранатовая гроздь' (III гр.).

Это почти в два раза ниже результатов, приводимых в литературе. Так, в условиях Центрально-Черноземного региона наибольшим СКИ характеризовались сорта и отборные формы: 'Памяти Саламатова' (13,1), 'Самоплодная' (13,4), 8-2-25 (13,9), 'Зеленоплодная' (15,4), 'Поздняя радость' (16,3), 'Гранатовая гроздь' (17,1) и 2-22 (18,5) (Antsiferov, 2004).

По данным Н. А. Царенко и В. Л. Витковского (Tsarenko, Vitkovsky, 1992), уровень накопления аскорбиновой кислоты (АК) в плодах черемухи составляет 6–15 мг/100 г. Низким содержанием АК считается уровень менее 6, средним – 6–15, высоким – более 15 мг/100 г. В нашем исследовании выявлены генотипы со средним и высоким содержанием АК (рис. 2). Средние показатели установлены для плодов четырех (19,04%) образцов: 'Сибирская красавица' (6,9 мг/100 г) (II гр.), 'Зеленоплодная' (9,18), 'Сахалинская устойчивая' (13,27) и 'Теньков 5' (14,3) (I гр.). Высоким содержанием АК (> 15) характеризовалось 80,96% образцов, в т. ч. 'Невеста', 'Atica', 'Карпаты-5', 1-1-8, 'Сахалинская черная', *P. avium* (I гр.); 'Пурпурная свеча', 'Красный шатер' (II гр.), 'Поздняя радость', 'Гранатовая гроздь', 'Памяти Саламатова', 'Августина' (III гр.); 'Самоплодная', 'Черный блеск', 'Плотнокистная', 'Ранняя круглая' (IV гр.). Образцов с низким уровнем АК не выявлено.

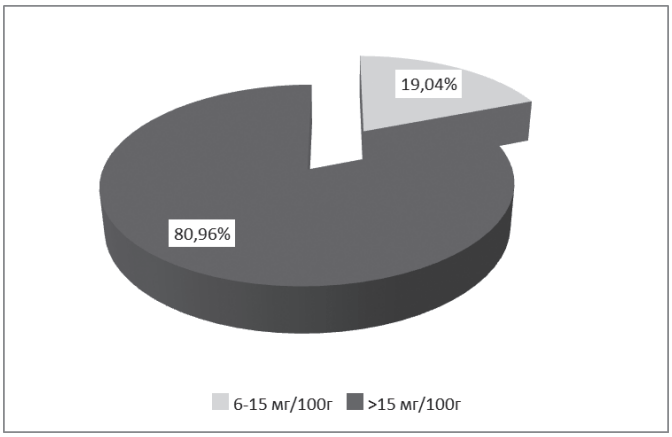


Рис. 2. Распределение образцов черемухи по содержанию в плодах аскорбиновой кислоты
Fig. 2. Distribution of bird cherry accessions by their ascorbic acid content in fruits

Сходные с нашими данными по составу АК (7,9–16,2 мг/100 г) приводит В. С. Симагин (Simagin, 2008) для плодов черемухи в условиях Западно-Сибирского региона. В то же время другие авторы (Isachkin, Vorobyev, 2001; Antsiferov, 2004) сообщают о более низких значениях АК.

Уровень накопления аскорбиновой кислоты в наших исследованиях варьировал для разных групп от 9,18 (I гр.) до 21,23 мг/100 г (II гр.) при среднем содержании от 15,04 (II гр.) до 17,49 мг/100 г (IV гр.) с диапазоном изменчивости 6,4-42,1 мг/100 г и высоким коэффициентом вариации – 33,37–46,09%.

Заключение

Изучение химического состава образцов черемухи в условиях Северо-Западного региона России позволило выявить различия между образцами разного происхождения и выделить генотипы с оптимальными биохимическими показателями для дальнейшего использования в селекции. Установлено, что образцы содержат в среднем от 24,1 (II гр.) до 29,32% (I гр.) РСВ; от 10,71 (IV гр.) до 11,64% (III гр.) сахаров; от 1,28 (II гр.) до 1,49% (IV гр.) титруемых кислот; от 7,33 (IV гр.) до 9,06 (III гр.) СКИ; от 15,04 (II гр.) до 17,49 мг/100 г (IV гр.) аскорбиновой кислоты.

Статистически значимых различий в биохимическом составе между четырьмя группами изученных образцов при $p < 0,05$ выявлено не было. Достоверные различия установлены по показателям РСВ между I (*P. avium*) и II (*P. avium* × *P. virginiana)* группой; по СКИ между I (*P. avium*) и IV (Сеянцы сорта ‘Памяти Саламатова’); II (*P. avium* × *P. virginiana)* и III (*P. virginiana* × *P. avium*); III (*P. virginiana* × *P. avium*) и IV (Сеянцы сорта ‘Памяти Саламатова’).

Установлен биохимический состав плодов органических кислот черемухи *P. avium* и ее гибридов *P. avium* × *P. virginiana*, насчитывающий более 50 идентифицированных компонентов.

Выделены генотипы с высоким содержанием РСВ – ‘Невеста’ (к-42113), 1-1-8 (к-42291), ‘Карпаты 5’ (к-42309), ‘Чайка’ (к-42112); сахаров и сахароспиртов – ‘Гранатовая гроздь’ (к-42102), ‘Зеленоплодная’ (к-42104), 1-1-8 (к–42291), ‘Памяти Саламатова’ (к-42106); низким содержанием кислот – ‘Сибирская красавица’ (к-42289), 1-1-8 (к-42291), ‘Гранатовая гроздь’ (к-42102), ‘Зеленоплодная’ (к-42104), ‘Поздняя радость’ (к–42107); аскорбиновой кислоты – 1-1-8 (к-42291), ‘Сахалинская черная’ (к-42288), ‘Красный шатер’ (к-42292) и ‘Ранняя круглая’ (к-42109); олеаноловой кислоты – ‘Черный блеск’ (к-42111), ‘Atica’ (к-42311); урсоловой кислоты – ‘Самоплодная’ (к-42110), 1-1-8 (к-42291), ‘Плотнокистная’ (к-42108), ‘Черный блеск’ (к-42111), ‘Ранняя круглая’ (к-42109), ‘Atica’ (к-42311) кислот. По комплексу компонентов – 1-1-8 (к-42291).

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0004 «Коллекции вегетативно размножаемых культур (картофель, плодовые, ягодные, декоративные, виноград) и их диких родичей ВИР – изучение и рациональное использование».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0004 “Collections of Vegetatively Propagated Crops (Potato, Fruit, Berry and Ornamental Crops, Grapes) and Their Wild Relatives at VIR: Studying and Sustainable Utilization”.

References/Литература

Antsiferov A.V. Economic and biological evaluation of varieties and selected forms of bird cherry in the Central Black-Soil Region (Khozyaystvenno-biologicheskaya otsenka sortov i otbornykh form cheremukhi v usloviyakh Centralno-Chernozemnogo regiona) [dissertation]. Michurinsk; 2004. [in Russian] (Анциферов А. В. Хозяйственно-биологическая оценка сортов и отборных форм черемухи в условиях Центрально-Черноземного региона: дис. ... канд. с.-х. наук. Мичуринск; 2004).

Castrejón-Jiménez N.S., Leyva-Paredes K., Baltierra-Uribe S.L., Castillo-Cruz J., Campillo-Navarro M., Hernández-Pérez A.D. et al. Ursolic and oleanolic acids induce mitophagy in A549 human lung cancer cells. *Molecules*. 2019;24(19):E3444. DOI: 10.3390/molecules24193444

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).

Isachkin A.V., Vorobyev B.N. Bird cherry (Cheremukha obyknovennaya). In: *Complete variety catalogue of Russia. Fruit crops* (*Polny sortovoy katalog Rossii. Plodovye kultury)*. Moscow: EKSMO-Press; 2001; p.520-528. [in Russian] (Исачкин А.В., Воробьев Б.Н. Черемуха обыкновенная. В кн.: *Полный сортовой каталог России. Плодовые культуры*. Москва: ЭКСМО-Пресс; 2001. С.520-528).

Khromov N.V., BocharovaT.E. Determination of biochemical compounds of Saskatoon fruit in Central Chernozem Zone. In: *New horticultural crop cultivars: their advantages and economic efficiency of cultivation. Proceedings of the International Scientific and Methodological Conference* (*Novye sorta sadovykh kultur: ikh dostoinstva i ekonomicheskaya effektivnost vozdelyvaniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii*), *February 10–28, 2014, Michurinsk, Russia*. Michurinsk, 2014, p.208–211. [in Russian] (Хромов Н.В., Бочарова Т.Е. Оценка важнейших показателей биохимического состава плодов ирги, черемухи, рябины и аронии в Центрально-Черноземной зоне. В кн.: *Новые сорта садовых культур: их достоинства и экономическая эффективность возделывания. Материалы международной научно-методической конференции, 10–28 февраля 2014 г., Мичуринск, Россия*. Мичуринск; 2014; С.208-211).

Petrova V.P. Bird cherry (Cheremukha). In: *Wild fruits and berries (Dikorastushchiye plody i yagody)*. Moscow; 1987. p.176-183. [in Russian] (Петрова В.П. Черемуха. В кн.: *Дикорастущие плоды и ягоды*. Москва; 1987. С.176-183).

Samorodova-Bianki G.B., Streltsina S.A. Research on biologically active substances in fruits. Guidelines (Issledovaniye biologicheski aktivnykh veshchestv plodov. Metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Самородова-Бианки Г.Б., Стрельцина С.А. Исследование биологически активных веществ плодов. Методические указания. Ленинград: ВИР; 1989).

Shelenga T.V., Streltsina S.A., Sorokin A.A., Shavarda A.L., Firsov G.A., Vasilyev I.P. et al. Biochemical characteristics of "red-fruited" viburnum accessions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2012;170:216-221. [in Russian] (Шеленга Т.В., Стрельцина С.А., Сорокин А.А., Шаварда А.Л., Фирсов Г.А., Васильев И.П. и др. Биохимическая характеристика плодов красноплодной калины (*Viburnum* L.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2012;170:216-221).

Simagin V.S. Bird cherry (Cheremukha). In: *Pomology. Stone fruit crops. Vol. 3.* (*Pomologiya. Kostochkovye kultury. T. 3*). Orel: VNIISPK; 2008. p.476-485. [in Russian] (Симагин В.С. Черемуха. В кн.: *Помология. Косточковые культуры. Т. 3*. Орел: ВНИИСПК; 2008. С.476-485).

Tsarenko N.A., Vitkovsky V.L. Descriptors of the genus *Padus* Mill. (Klassifikator roda *Padus* Mill.). St. Petersburg; 1992. [in Russian] (Царенко Н.А., Витковский В.Л. Классификатор рода *Padus* Mill. Санкт-Петербург; 1992).

Vitkovsky V.L. Bird cherry (Cheremukha). In: *Fruit plants of the world* (*Plodovye rasteniya mira*). St. Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan; 2003. p.228-231. [in Russian] (Витковский В.Л. Черемуха. В кн.: *Плодовые растения мира*. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань; 2003. С.228-231).

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

Орлова С.Ю., Юшев А.А., Шеленга Т.В. Химический состав плодов черемухи в условиях Северо-Западного региона России. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020; 181(2):65-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-65-72

Orlova S.Yu., Yushev A.A., Shelenga T.V. Chemical composition of bird cherry fruits in the Northwestern region of Russia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):65-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-65-72

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/10.30901/2227-8834-2020-2-65-72

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Orlova S. Yu. https://orcid.org/0000-0002-1424-8790
Shelenga T.V. https://orcid.org/0000-0003-3992-5353

The effect of growing conditions and the year of reproduction on sowing qualities of seeds, morphological and physiological characteristics in sprouts of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-73-86
УДК 631.531:581.142:633.33
Поступление/Received: 06.04.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

A. V. SUSHKEVICH, O. N. ZABEGAEVA, M. O. BURLYAEVA*

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
* *m.burlyaeva@vir.nw.ru*

Влияние условий выращивания и года репродукции на посевные качества семян и морфофизиологические показатели проростков *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek

А. В. СУШКЕВИЧ, О. Н. ЗАБЕГАЕВА, М. О. БУРЛЯЕВА*

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*

Background. Mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) sprouts are of high nutritional value and are very popular in the world, as they are a source of nutrients and bioactive compounds. In Russia, the consumption of *V. radiata* sprouts is only beginning to develop. Growing this crop for microgreens on a commercial scale requires cultivars with a rapid development rate and higher weight of sprouts. With this in view, the aim of this research was to study the effect of growing conditions and the genotype on morphological and physiological parameters of mung bean seeds and sprouts. **Methods.** Mung bean accessions from the VIR collection were analyzed. Germination energy, seed germination and seed vigor, and morphological characteristics were evaluated in seeds and sprouts of 16,000 plants. Four plant reproductions grown at Astrakhan (2015, 2017), Kuban (2005) and Adler (2016) Experiment Stations of VIR were studied. The effect produced by growing conditions and the genotype on morphological and physiological parameters of plants was identified using one- and two-way analyses of variance. Correlations between the traits were assessed using correlation and component analyses. **Results.** Specific individual features of the accessions produced the strongest effect on morphological and physiological characteristics of seeds and sprouts; weather conditions, the place and year of reproduction, to a lesser extent. Sowing quality of seeds depended more on the precipitation amount during the growing season than on the sum of active temperatures. When formed under dry conditions, seeds manifested better seed germination, germination energy of seeds, and seed vigor. Accessions with high and stable levels of seed germination, germination energy, and seed vigor, and weight of sprouts were identified.

Key words: mung bean, seed germination, germination energy of seeds, seed vigor, effect of ecogeographic conditions, variability of morphological characters.

Актуальность. Проростки маша (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) отличаются высокой пищевой ценностью и очень популярны в мире, так как являются источником питательных и биологически активных веществ. В России употребление в пищу проростков *V. radiata* только начинает развиваться. Для выращивания этой культуры на микрозелень в производственных условиях необходимо иметь сорта, характеризующиеся быстрым развитием и большим весом ростков. В связи с этим целью нашей работы стало изучение влияния условий выращивания и генотипа на морфофизиологические показатели семян и проростков. **Методы.** Исследованы образцы из коллекции маша ВИР. Проведена оценка энергии прорастания, всхожести, силы роста, морфологических признаков семян и проростков у 16 000 растений. Изучены семена четырех репродукций – Астраханской (2015, 2017 г.), Кубанской (2005 г.) и Адлерской (2016 г.) опытных станций ВИР. Влияние условий выращивания и генотипа на морфофизиологические показатели устанавливали с помощью одно- и двухфакторного дисперсионного анализа. Изучение взаимосвязей между признаками проводили с применением корреляционного и компонентного анализов. **Результаты.** Наиболее сильно на морфофизиологические признаки семян и проростков действуют индивидуальные особенности образцов, слабее – погодные условия, место и год репродукции. Посевные качества семян больше зависят от числа осадков, выпавших во время вегетации, чем от суммы активных температур. В сухих условиях формируются семена с лучшей всхожестью, энергией прорастания и силой роста. Выделены образцы, имеющие стабильные и высокие показатели энергии прорастания, всхожести, силы роста и веса проростков.

Ключевые слова: маш, энергия прорастания, всхожесть, сила роста семян, влияние эколого-географических условий, изменчивость морфологических признаков.

Introduction

Mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) is a multipurpose crop, widespread in the countries of Southeast Asia and in the arid regions of Africa and Australia. In the Russian Federation it has been cultivated on small areas in the southern parts of the country. This crop is grown for seeds, sprouts and beans, used to prepare porridge, soups, or vegetable accompaniments. Mung bean dishes enrich the human diet not only with proteins, carbohydrates or micronutrients, but also with essential amino acids, such as lysine, known to be deficient in cereals (Shi et al., 2016). Nutritive value is found not only in seeds, but also in sprouts: because of their low glycemic index they are often used in various diets. Like seeds, they are a source of numerous nutrients. They contain flavonoids, phenolic acids, organic acids, amino acids, carbohydrates, and

lipids. Metabolites in mung bean sprouts are biologically active and possess antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, antidiabetic, antihypertensive, antitumor and other health-friendly properties. That is why ordinary food prepared from mung bean seeds or sprouts is regarded and used as a medication (Tang et al., 2014, Ullah et al., 2014).

Mung bean sprouts (microgreens) are a very popular food among both Europeans and Americans because it serves as a source of minerals and vitamins and its production does not require much acreage, inputs or time (Ebert, 2015; Kyriacou et al., 2016). Sprouts are sold fresh or canned (Pataczek et al., 2018). From 2014 through 2018, the total imports of mung bean seeds to Europe to produce sprouts have been 21–27 million tons (Market Access Database, 2018). In 2017, the main suppliers were Myanmar (14.4 million tons), China (3.8), and Australia (1.8).

In Russia, mung bean sprouts have only recently started to be part of the diet. To cultivate *V. radiata* on a large scale for microgreen production, it is essential to have cultivars with high plant growth vigor, rapid development rate, and ability to produce large amounts of sprouts.

Seeds with high sowing qualities are quicker to form sprouts. Seed vigor is associated with the growth, development and productivity of plants grown from them (Likhachev, 1984). It is known that seed germination, germination energy of seeds, and seed vigor in many pulse crop seeds depends on cultivar-specific differences and growing conditions (Adamova, 1971a; Likhachev, Shevchenko, 1975; Rakovskaya et al., 2019).

Considering all this, *the aim of our research* was to analyze the effect produced by seed growing conditions, periods of seed conservation, and specific features of varieties (genotype) on the indicators of seed germination, germination energy, and seed vigor as well as on morphological characters of mung bean sprouts.

The research objectives included:

1. studying the variability in germination energy, seed germination, and seed vigor when seed accessions were reproduced under different ecogeographic conditions;
2. assessing the variability of morphological and agronomic characteristics in sprouts (in the phase of first leaf development) grown from seeds in different sites of reproduction;
3. analyzing the effect of the genotype, weather conditions, place and year of seed reproduction on the studied indicators in seeds and sprouts;
4. identifying mung bean accessions with high and stable levels of the development (growth) and weight of sprouts.

Materials and methods

The accessions of Kenyan origin from the mung bean collection held by the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR) served as the material for our experiments. The seeds selected for the study were grown under different ecogeographic conditions at three branch stations of VIR: Kuban Experiment Station (KES) in 2005; Astrakhan Experiment Station (AES) in 2015 and 2017; and Adler Experiment Station (AdES) in 2016.

The areas where the seeds were reproduced differed in their soil and climate environments. AES is situated in Astrakhan Province, in the area of insufficient humidity. Soils on the experimental plot are alluvial-meadow heavy loams. The summer is hot and dry. The sum of active temperatures in 2015 was 3945.5°C; in 2017, 3915.7°C; precipitation amount from April to October in 2015 was 92.8 mm; in 2017, 103.0 mm (Fig. 1). KES is located in the steppe area of the Kuban Plain, Krasnodar Territory. Soils in the station's zone are represented by massive Ciscaucasian chernozems developed on forest-like loam carbonate. The climate in the station's vicinity is warm, moderately continental, with hot summers, insufficient humidity, and extreme instability in all climatic data elements. In 2005, the sum of active temperatures reached 3751.4°C; precipitation amount from April to October was 346.8 mm. AdES is situated in Adlersky District, City of Sochi, on the shore of the Black Sea. The earth in the vicinity is represented by yellow and red soils. The climate in the station's area is humid sub-

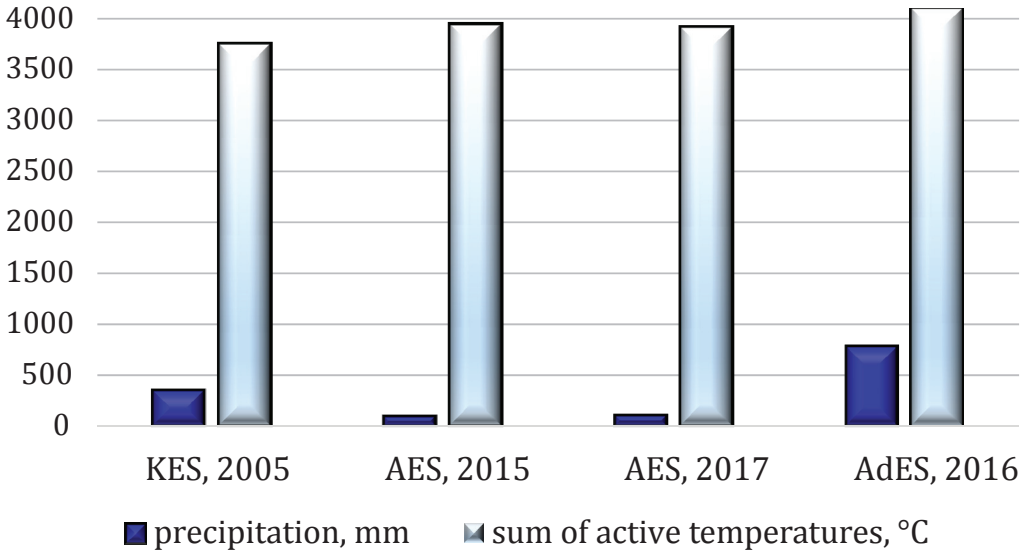


Fig. 1. The sums of active temperatures and precipitation amounts during the growing season in the years of seed reproduction at the Experiment Stations of VIR: KES – Kuban Experiment Station, AES – Astrakhan Experiment Station, AdES – Adler Experiment Station

Рис. 1. Сумма активных температур и количество осадков, выпавших за вегетационный период в годы размножения семян на опытных станциях ВИР. KES – Кубанская опытная станция, AES – Астраханская опытная станция, AdES – Адлерская опытная станция

tropical, with a hot and humid climatic summer. The sum of active temperatures in 2016 was 4094.7°C, with the precipitation amount from April to October 778.7 mm.

Sums of active temperatures and precipitation amounts were calculated using the weather report data provided by the All-Russia Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI–WDC, 2020).

Germination energy of seeds and seed germination were measured according to the guidelines approved for grain legume crops (GOST 12038-84). Seeds were germinated in rolls under laboratory conditions at a constant temperature of +20°C. They were placed on two layers of filter paper sized 20 × 100 cm (± 2 cm), 5 cm below the upper edge of a sheet. From above, the sample was covered with a band of moistened filter paper of the same size. Then, the seeds placed between paper layers were rolled up into a roll and inserted vertically into a seed germinator. Seed vigor was analyzed on the basis of B.S. Likhachev's technique developed for cereal crops (Likhachev, 1975). Seed germination energy indicators were recorded on the 4th day, seed vigor on the 5th, seed germination and seed hardness on the 10th. Germination energy, seed germination, and seed vigor were calculated in percent form. Morphological characters of the sprouts (their wet and dry weight, lengths of the root, stem and first leaf, stem diameter) were examined on the 10th day. For each accession of the collection, 1600 plants were analyzed (100 seeds in 4 replications from each reproduction). All in all, 16,000 plants were evaluated.

Statistical processing of the data obtained was performed using the software package Statistica 10.0 (http://statsoft.ru). To study the relationships between characters, correlation analysis was applied (r = the Pearson correlation coefficient). The following scale was accepted for correlation coefficients: very strong, $r > 0.90$; strong, $0.90 > r > 0.70$; medium, $0.70 > r > 0.50$; and weak, $0.50 > r > 0.30$. Factor analysis (employing principal components) was applied to disclose the variability and structure of relationships among characters.

Statistical significance of the effect produced by the genotype, weather conditions and reproduction sites on the studied characteristics was determined using one-way and two-way analyses of variance. Following Fisher's model, the percent of the factor's effect size (η^2, %) was calculated according to the formula (Ivanter, Korosov, 2003):

$$\eta^2 = \frac{SS_{factor}}{SS_{total}} \times 100\%,$$

where η^2, % is the effect size percentage; SS_{factor} is the sum of squared deviations for a factor; SS_{total} is the total sum of squared deviations.

Results and discussion

Our research has shown that the mung bean accessions from Kenya demonstrate high variability in their growth and development indicators in the early stages of plant ontogenesis (Table 1). Strong variations were observed in morphological (root length, stem length, leaf length, and stem diameter) and agronomic (1000 seed weight, and sprout weight) characters as well as in physiological ones (germination energy of seeds, seed germination, and seed vigor).

Table 1. Variability of plant growth and development indicators in the early stages of ontogenesis in the accessions of *Vigna radiata* at the Kuban, Astrakhan, and Adler Experiment Stations of VIR (2005, 2015–2017)

Таблица 1. Изменчивость показателей роста и развития растений на ранних стадиях онтогенеза у образцов *Vigna radiata* на Кубанской, Астраханской и Адлерской опытных станциях ВИР (2005, 2015–2017 гг.)

Indicator	Minimum value	Maximum value	Mean value, error of the mean
Germination energy of seeds, %	18.00	100.00	75.89 ± 0.78
Seed germination, %	22.00	100.00	80.31 ± 0.70
Seed vigor, %	0.00	96.00	45.81 ± 1.16
Seed hardness, %	0.00	30.00	3.22 ± 0.22
1000 seed weight, g	24.00	138.00	50.83 ± 0.87
Wet sprout weight, g	0.13	0.60	0.34 ± 0.01
Dry sprout weight, g	0.01	0.06	0.03 ± 0.0004
Sprout stem length, cm	2.80	17.60	8.51 ± 0.01
Sprout root length, cm	2.00	19.20	11.67 ± 0.12
Sprout stem diameter, mm	1.00	5.00	2.48 ± 0.03
First leaf length, cm	0.50	3.10	1.75 ± 0.14

The studied characters varied greatly across the places of seed reproduction (Fig. 2). Practically all measured indicators showed the best values in the seeds and sprouts produced in Astrakhan Province (AES). Those accessions had the highest germination energy, seed germination, and seed vigor. They also exceeded accessions grown at other sites in the weight of wet sprouts, stem and root lengths, but in the first leaf length they were the best only in 2015. Seeds reproduced at the Kuban Experiment Station had the highest weight of 1000 seeds, but the sprouts germinated from them demonstrated lower values of root, stem and leaf length, and wet sprout weight. The exceptions were stem diameter and dry sprout weight: these indicators showed higher values than in the sprouts grown from the seeds of other reproductions. The worst values were observed in the seeds and sprouts produced in Adler (AdES).

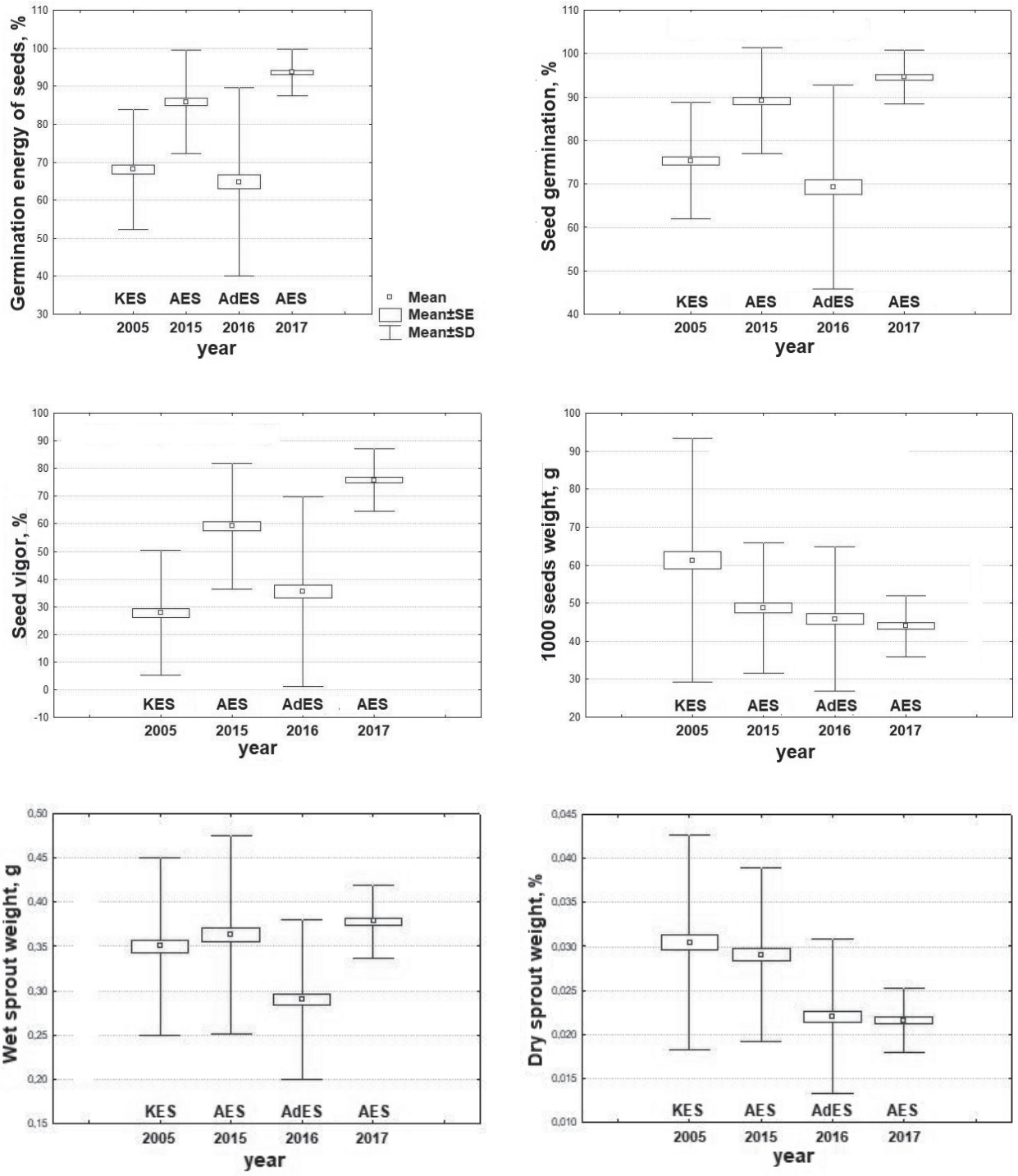


Fig. 2. Variability of growth and development indicators in the sprouts of *Vigna radiata* grown from seeds reproduced in different soil and climate environments

Рис. 2. Изменчивость показателей роста и развития проростков *Vigna radiata*, выращенных из семян, репродуцированных в разных почвенно-климатических условиях

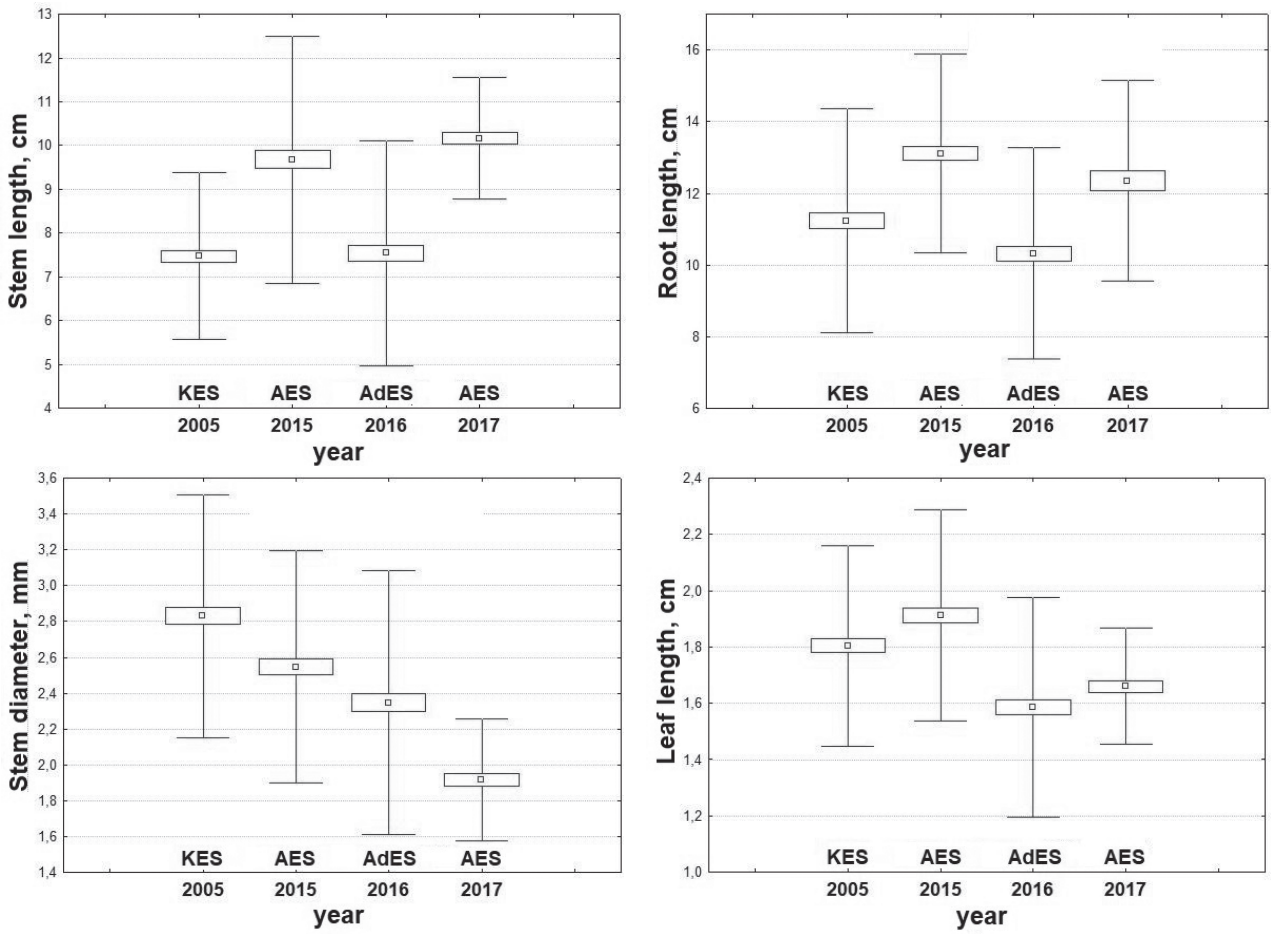


Fig. 2. Variability of growth and development indicators in the sprouts of *Vigna radiata* grown from seeds reproduced in different soil and climate environments

Рис. 2. Изменчивость показателей роста и развития проростков *Vigna radiata*, выращенных из семян, репродуцированных в разных почвенно-климатических условиях

In our experiment, significant differences in morphological, biological and agronomic characteristics were registered between different accessions as well (Table 2).

The best mean values (calculated for all versions of the experiment) of germination energy and seed germination were found in accessions k-14436, k-14401, k-14408 and k-14451, while k-14407, k-14436 and k-14403 were the best in seed vigor. Among those accessions k-14407 deserves a special mention as it stably demonstrated good seed growth values regardless of the year or place of seed reproduction. The highest seed hardness was observed in k-14416; the same accession showed low levels of germination energy, seed germination, and seed vigor. An analogous pattern of the abovementioned indicators was obvious in k-14421. High values of root length were identified in accessions k-14408, k-14436 and k-14438; stem length, in k-14408; leaf length, in k-14408, k-14438 and k-14403; stem diameter, in k-14401, k-14438 and k-14403; wet sprout weight, in k-14408, k-14438, k-14403 and k-14436; dry sprout weight, in k-14408 and k-14403. The best accessions in the entire set of indicators were k-14408, k-14403 and k-14438.

To check the significance of the effect produced by the genotype, place and year of reproduction, and weather conditions on the tested indicators, factorial analysis of variance was applied (Tables 3–6). Its results showed that the variability of the studied characters was significantly affected by all the factors in question. Seed hardness, however, did not depend on the site of seed reproduction. In our experiment, this indicator was stronger influenced by the genotype (effect size $\eta^2 = 42\%$), and to a lesser extent by the year of seed reproduction ($\eta^2 = 1\%$).

Two-way analysis of variance, undertaken to disclose associations between the year of seed reproduction and the genotype, and the variability of morphological and agronomic characters, showed that the latter were more affected by the genome of an accession than the year of its reproduction (Table 3). The effect size of the genotype, produced on 1000 seed weight, was 58%; on wet and dry sprout weight, 65 and 57%, respectively; on root, leaf and stem lengths, 33, 31 and 34%, respectively; on stem diameter, 25%. The genotype and the year of seed reproduction had almost the same effect on the variability of sowing quality indicators in mung bean seeds (germination energy, seed germination, and seed vigor): their effect size varied within the range of 24 to 36%.

According to the results of a one-way analysis of variance, the site of seed reproduction rendered an effect on the growth indicators of seeds and sprouts in a similar way as with the year of their reproduction (Table 4). Tukey's test showed that soil and climate conditions at AdES and KES had an almost similar effect on the studied indicators, while AES was significantly different. In the context of the analyzed set of morphological and physiological characters, the seeds delivered from Astrakhan Province were much better

Table 2. Characterization of *Vigna radiata* accessions according to mean values of their growth and development indicators in the early stages of ontogenesis at the Kuban, Astrakhan, and Adler Experiment Stations of VIR (2005, 2015–2017)

Таблица 2. Характеристика образцов *Vigna radiata* по средним показателям роста и развития растений на ранних стадиях онтогенеза на Кубанской, Астраханской и Адлерской опытных станциях ВИР (2005, 2015–2017 гг.)

Catalogue No.	Germination energy of seeds, %	Seed germination, %	Seed vigor, %	Seed hardness, %	1000 seed weight, g	Wet sprout weight, g	Dry sprout weight, g	Stem length, cm	Root length, cm	Stem diameter, mm	Leaf length, cm
14401	**86.3**	**87.8**	21.8	0.2	39.6	0.3	0.03	6.8	10.8	**3.3**	1.8
14403	69.8	79.0	**64.7**	0.1	*60.2*	*0.4*	**0.04**	6.5	8.6	**2.8**	**1.9**
14405	79.7	*85.0*	35.3	0.3	48.3	0.3	0.03	7.9	10.1	*2.7*	1.8
14407	78.8	82.7	**76.7**	7.5	34.5	0.3	0.02	9.2	13.4	2.5	1.8
14408	*84.2*	**90.0**	60.8	0.9	**94.0**	**0.5**	**0.04**	**11.6**	**14.1**	*2.7*	**2.2**
14412	79.9	82.4	44.6	3.0	**70.0**	0.3	0.02	8.9	*12.9*	2.3	1.5
14416	47.5	52.7	26.0	**14.9**	51.3	0.2	0.02	6.5	12.4	2.0	1.5
14421	64.8	69.5	33.5	5.9	35.5	0.3	0.02	7.7	9.6	2.1	1.4
14436	**95.5**	**96.5**	**68.0**	1.5	*60.0*	*0.4*	0.02	10.3	**14.1**	2.0	1.8
14438	75.3	79.5	33.7	0.0	34.7	**0.5**	0.03	10.3	**13.6**	**2.9**	**1.9**
14451	*84.4*	**88.0**	57.8	0.9	40.4	0.3	0.03	9.1	11.3	2.1	1.8

Table 3. Results of a two-way analysis of variance, disclosing associations between the year of seed reproduction and the genotype, and the variability of morphological and biological characters in *Vigna radiata*

Таблица 3. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по выявлению ассоциаций между годом репродукции семян, генотипом и изменчивостью морфологических и биологических признаков *Vigna radiata*

Factors	Df	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
		Germination energy of seeds				*Seed germination*			
Genotype	9	78132	7813	39.78	0.00	70746	7075	45.30	0.00
Year	3	78467	26156	133.18	0.00	59200	19733	126.36	0.00
Residual variability	686	134724	196			107128	156		
Total variability	699	300756				243124			
$\eta^2_{genotype}$, %		25.98				29.10			
η^2_{year}, %		26.09				24.35			

Table 3. **The end**

Таблица 3. **Окончание**

Factors	Df	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
		Seed vigor				*1000 seed weight*			
Genotype	9	226834	22683	68.996	0.00	217927	21793	120.841	0.00
Year	3	237043	79014	240.337	0.00	34650	11550	64.046	0.00
Residual variability	686	225533	329			123715	180		
Total variability	699	663876				373978			
$\eta^2_{genotype}$, %		34.17				58.27			
η^2_{year}, %		35.71				9.27			
		Wet sprout weight				*Dry sprout weight*			
Genotype	9	4.54774	0.45477	183.03	0.00	0.043590	0.004359	135.48	0.00
Year	3	1.09719	0.36573	147.20	0.00	0.008128	0.002709	84.20	0.00
Residual variability	686	1.70447	0.00248			0.022073	0.000032		
Total variability	699	7.01786				0.076446			
$\eta^2_{genotype}$, %		64.80				57.02			
η^2_{year}, %		15.63				10.63			
		Stem length				*Root length*			
Genotype	9	1613.01	161.30	50.24	0.00	2251.74	225.17	41.55	0.00
Year	3	958.62	319.54	99.52	0.00	907.62	302.54	55.83	0.00
Residual variability	686	2202.66	3.21			3717.39	5.42		
Total variability	699	4770.26				6831.78			
$\eta^2_{genotype}$, %		33.81				32.96			
η^2_{year}, %		20.10				13.29			
		Stem diameter				*Leaf length*			
Genotype	9	88.354	8.835	29.45	0.00	30.718	3.072	36.89	0.00
Year	3	40.177	13.392	44.64	0.00	11.134	3.711	44.57	0.00
Residual variability	686	205.791	0.300			57.127	0.083		
Total variability	699	354.990				99.983			
$\eta^2_{genotype}$, %		24.89				30.72			
η^2_{year}, %		11.32				11.14			

SS – sum of squares; MS – mean squares; F – Fisher criterion value; p – significance level; df –degrees of freedom, η^2, % – effect size, percentage

SS – сумма квадратов, MS – среднеквадратичное отклонение, F – значение критерия Фишера, p – уровень значимости, df – числа степеней свободы, η^2, % – доля влияния

Table 4. **Results of a one-way analysis of variance, disclosing associations between the variability of morphological and biological characters in *Vigna radiata* and the site of seed reproduction**

Таблица 4. **Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению ассоциаций между изменчивостью морфологических и биологических признаков *Vigna radiata* и местом репродукции**

Factors	Df	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
		Germination energy of seeds				*Seed germination*			
Place of reproduction	2	83864	41932	134.75	0.00	63276	31638	122.61	0.00
Residual variability	597	216892	311			179847	258		
Total variability	599	300756				243124			
η^2, %		27.88				26.03			
		Seed vigor				*1000 seed weight*			
Place of reproduction	2	193028	96514	142.870	0.00	30819	15410	31.299	0.00
Residual variability	597	470848	676			343159	492		
Total variability	599	663876				373978			
η^2, %		29.08				8.24			
		Wet sprout weight				*Dry sprout weight*			
Place of reproduction	2	0.75041	0.37521	41.727	0.00	0.007069	0.003534	35.509	0.00
Residual variability	597	6.26744	0,00899			0.069377	0.000100		
Total variability	599	7.01786				0.076446			
η^2, %		10.69				9.25			
		Stem length				*Root length*			
Place of reproduction	2	938.88	469.44	85.400	0.00	824.75	412.37	47.85	0.00
Residual variability	597	3831.38	5.50			6007.04	8.62		
Total variability	599	4770.26				6831.78			
η^2, %		19.68				12.07			
		Stem diameter				*Leaf length*			
Place of reproduction	2	34.174	17.087	37.123	0.00	7.853	3.927	29.71	0.00
Residual variability	597	320.815	0.460			92.130	0.132		
Total variability	599	354.990				99.983			
η^2, %		9.63				7.85			

in their quality than those grown on the experimental fields of Krasnodar Territory.

The sum of active temperatures and the amount of precipitation during the growing season had a statistically significant effect on the variability of all tested characteristics of mung bean seeds and sprouts (Tables 5, 6). The effect of these two factors on seed germination energy, seed germination, and seed vigor was higher than on other characters: the effect size percentage varied from 27 to 32%. Their effect on morphological and agronomic traits was 8–20%. The

Table 5. Results of a one-way analysis of variance, disclosing associations between the variability of morphological and biological characters in *Vigna radiata* and the sum of active temperatures

Таблица 5. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению ассоциаций между изменчивостью морфологических и биологических признаков *Vigna radiata* и суммой активных температур

Factors	Df	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
		Germination energy of seeds				*Seed germination*			
Sum of active temperatures	3	87817	29272	95.68	0.00	65090	21697	84.82	0.00
Residual variability	696	212940	306			178034	256		
Total variability	699	300756				243124			
η^2, %		29.20				26.77			
		Seed vigor				*1000 seed weight*			
Sum of active temperatures	3	212018	70673	108.857	0.00	33278	11093	22.661	0.00
Residual variability	696	451858	649			340700	490		
Total variability	699	663876				373978			
η^2, %		31.94				8.90			
		Wet sprout weight				*Dry sprout weight*			
Sum of active temperatures	3	0.75513	0.25171	27.974	0.00	0.010591	0.003530	37.313	0.00
Residual variability	696	6.26272	0.00900			0.065854	0.000095		
Total variability	699	7.01786				0.076446			
η^2, %		10.76				13.85			
		Stem length				*Root length*			
Sum of active temperatures	3	954.95	318.32	58.068	0.00	853.53	284.51	33.12	0.00
Residual variability	696	3815.32	5.48			5978.25	8.59		
Total variability	699	4770.26				6831.78			
η^2, %		20.02				12.49			
		Stem diameter				*Leaf length*			
Sum of active temperatures	3	59.588	19.863	46.799	0.00	11.459	3.820	30.03	0.00
Residual variability	696	295.402	0.424			88.524	0.127		
Total variability	699	354.990				99.983			
η^2, %		16.79				11.46			

Table 6. **Results of a one-way analysis of variance, disclosing associations between the variability of morphological and biological characters in *Vigna radiata* and the amount of precipitation**

Таблица 6. **Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению ассоциаций между изменчивостью морфологических и биологических признаков *Vigna radiata* и количеством осадков**

Factors	Df	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
		Germination energy of seeds				*Seed germination*			
Precipitation amount	3	87900	29300	95.80	0.00	65249	21750	85.10	0.00
Residual variability	696	212857	306			177874	256		
Total variability	699	300756				243124			
η^2, %		29.23				26.84			
		Seed vigor				*1000 seed weight*			
Precipitation amount	3	211509	70503	108.474	0.00	32336	10779	21.959	0.00
Residual variability	696	452366	650			341642	491		
Total variability	699	663876				373978			
η^2, %		31.86				8.65			
		Wet sprout weight				*Dry sprout weight*			
Precipitation amount	3	0.76565	0.25522	28.411	0.00	0.010783	0.003594	38.098	0.00
Residual variability	696	6.25221	0.00898			0.065663	0.000094		
Total variability	699	7.01786				0.076446			
η^2, %		10.91				14.11			
		Stem length				*Root length*			
Precipitation amount	3	954.59	318.20	58.041	0.00	862.65	287.55	33.53	0.00
Residual variability	696	3815.67	5.48			5969.14	8.58		
Total variability	699	4770.26				6831.78			
η^2, %		20.01				12.63			
		Stem diameter				*Leaf length*			
Precipitation amount	3	60.845	20.282	47.990	0.00	12.138	4.046	32.06	0.00
Residual variability	696	294.145	0.423			87.846	0.126		
Total variability	699	354.990				99.983			
η^2, %		17.14				12.14			

precipitation amount produced a little stronger effect on variations in wet and dry sprout weight, stem diameter, and root and leaf length. Correlation analysis identified weak negative correlations between precipitation amount and germination energy of seeds (r = –0.47), seed germination (r = –0.46), seed vigor (r = –0.40), wet sprout weight (r = –0.30), stem length (r = –0.39), and root length (r = –0.35); correlation coefficients were weaker for all other characters (r < 0.30). The sum of active temperature correlated very weakly (r < 0.30) with all morphological and physiological characters.

Interrelations among morphological and physiological characters were studied using correlation analysis (significance level p < 0.05). As a result, strong correlations were identified between germination energy of seeds and seed germination (r = 0.95), and dry and wet sprout weights (r = 0.70). Germination energy had medium correlations with a number of characters: seed vigor (r = 0.60), and sprout stem length (r = 0.58). The same correlation level was observed for seed germination with seed vigor (r = 0.58), wet sprout weight (r = 0.50), stem length (r = 0.57), and leaf length (r = 0.50). Seed vigor correlated with stem length (r = 0.56). Wet sprout weight correlated both with stem length (r = 0.56) and with leaf length (r = 0.59), while dry sprout weight only with leaf length (r = 0.59). Positive correlations were found between stem and root lengths (r = 0.61), and between stem and leaf lengths (r = 0.50). Negative correlations were observed for seed hardness with germination energy (r = –0.50) and seed germination (r = –0.49). Thus, sowing qualities of seeds to a considerable extent determined the development of sprouts, while seed hardness reduced the seed germination and germination energy indicators. Maximum weight was measured in sprouts with long stems and leaves.

Factor analysis (employing principal components) was applied to disclose regularities in the variability and structure of links among characters in mung bean accessions in the early stages of ontogenesis (Table 7). Component analysis identified two factors that determined 59.0% of the total variance for characters. The first factor (F_1, 35% of variance) included: seed germination, germination energy, seed vigor, wet sprout weight, and stem, root and leaf lengths. Analyzing the first factor showed that the seeds with high values of seed germination, germination energy, seed vigor developed sprouts with a higher wet sprout weight, and longer stems, leaves and roots. This factor may be interpreted as the factor of seed germination energy and seed vigor. The second factor (F_2, 24% of variance) aggregated dry sprout weight, stem diameter, 1000 seed weight, and, in negative correlation, seed hardness. The leading characters within this factor, i.e., with the strongest effect on coordinated variations in the rest characters, were dry sprout weight and stem diameter. Studying the set of characters in the second factor revealed an interrelation between stem diameter and 1000 seed weight. Sprouts with a longer stem diameter germinated from larger seeds. Seed hardness was observed more often in small-seeded accessions. It should be mentioned that wet sprout weight was a transgressive character, interlinked not only with seed germination and germination energy, but also with seed weight, i.e., it depended on a coordinated variability in several sets of correlated characters.

Considering the distribution of the tested accessions across the space of the first two factors, it is possible to notice that the plants with similar characters are located close to each other (Fig. 3). Figure 3.1 shows a quite compact group of accessions reproduced at AES in 2017. Accessions grown at AES in 2015 are observed nearby. In the scatterplot they occupy the area characterized by high values of seed germination, seed germination energy, seed vigor, stem length, root length, leaf length, medium and large seeds, medium and high sprout weights.

Accessions reproduced at KES (2005) are in the area of plants with low or medium values of seed germination, germination energy, seed vigor, large and medium seeds, high and medium weights of dry and wet sprouts.

For a majority of accessions reproduced at AdES (2016), minimum levels of seed germination, germination energy and vigor were observed. Most of them are located in the area of small and medium seeds, small sprout weights, short

Table 7. Factor loadings of characters in mung bean seeds and sprouts

Таблица 7. Факторная структура признаков семян и проростков маша

Character	Factor 1	Factor 2
Germination energy of seeds	**0.85**	0.17
1000 seed weight	–0.05	*0.55*
Seed germination	**0.83**	0.26
Seed hardness	–0.26	*–0.58*
Seed vigor	**0.81**	–0.15
Wet sprout weight	*0.55*	*0.64*
Dry sprout weight	0.22	**0.82**
Sprout stem length	**0.83**	0.08
Sprout root length	*0.62*	0.04
Sprout stem diameter	–0.14	**0.73**
Sprout leaf length	*0.57*	0.49
Variance, %	35.0	24.0

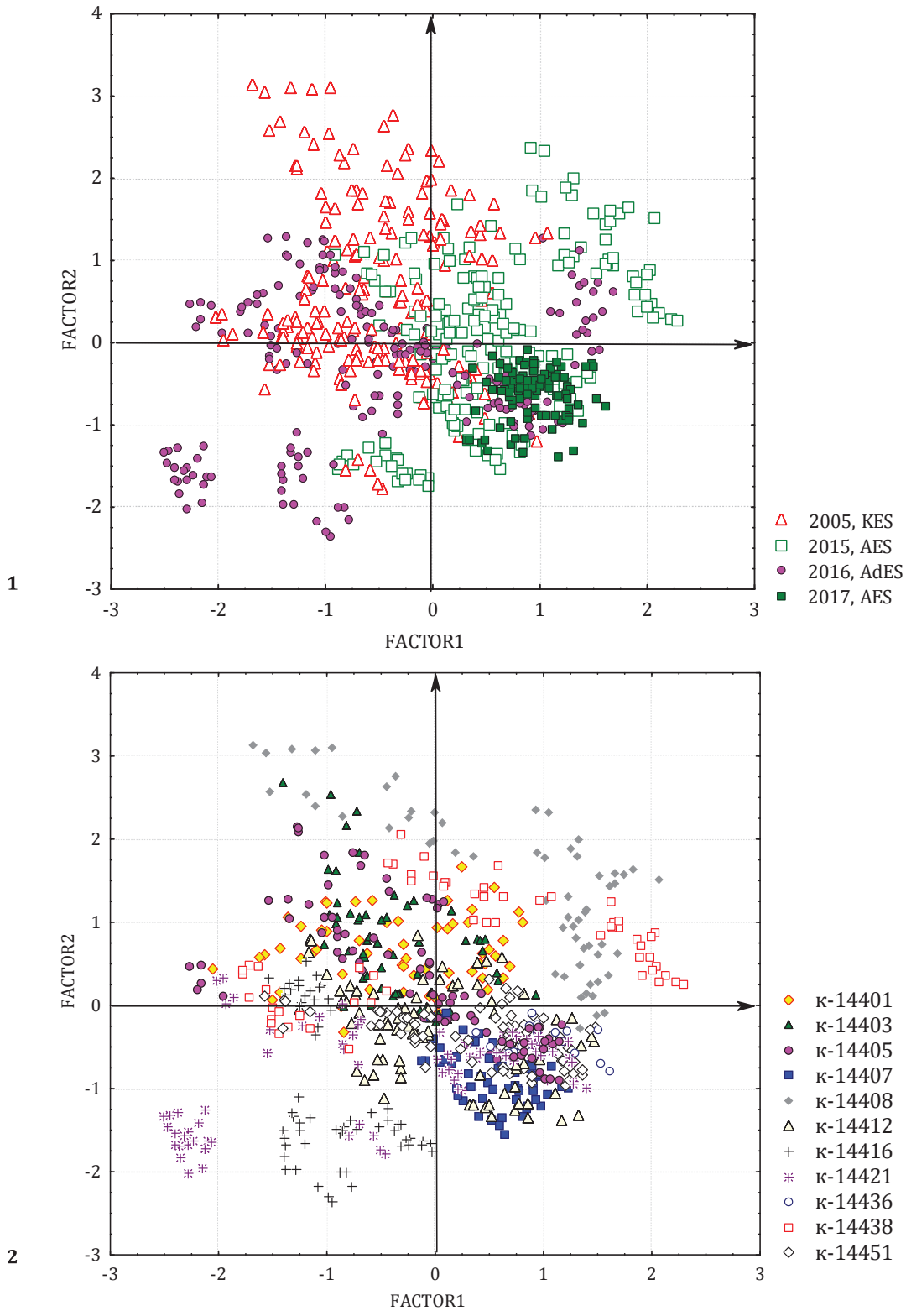


Fig. 3. Scatterplot of the tested mung bean accessions in the factorial space.
Factor 1, Factor 2 are the first two factors.
1. Across the stations, where 2005 means the seed reproduction at the Kuban Experiment Station (KES); 2015 and 2017 mean the seed reproductions at Astrakhan Experiment Station (AES); 2016 means the seed reproduction at Adler Experiment Station (AdES) of VIR.
2. Across VIR's catalogues, where 'k-' is the catalogue number of an accession

Рис. 3. Распределение изученных образцов маша в факторном пространстве.
Factor 1, Factor 2 – первые два фактора.
1. По станциям, где 2005 – репродукция Кубанской опытной станции; 2015 и 2017 – репродукции Астраханской опытной станции; 2016 – репродукция Адлерской опытной станции – филиалов ВИР.
2. По каталогам ВИР, где «к» – номер каталога

leaves, stems and roots (in the scatterplot they are to the left, in the lower and middle parts). Accession k-14407 was an exception (on Fig. 3.1 it may be found among the accessions reproduced at AES in 2015 and 2017). This variety demonstrated high seed germination, germination energy and vigor, with medium values in sprout and seed weights, regardless of the year and place of seed reproduction. Accession k-14451 was close to the latter in the tested indicators. Also worth mentioning are k-14401, k-14403 and k-14408 which showed stable high levels in 1000 seed weight and sprout weights in all the years of testing. On the scatterplot they are in the upper part of the image (Fig. 3.2). Accessions k-14405 and k-14412 changed their indicators in different sites of reproduction: they demonstrated the best values of sprout weight when reproduced at KES, while their seed germination, germination energy and vigor were better at AES. Accession k-14416, with the highest percentage of hard seeds per sample (on Fig. 3.2, to the left in the lower and middle areas), had the lowest values in seed germination and seed vigor.

While analyzing Fig. 3, it is possible to trace a reduction of seed germination, germination energy and seed vigor levels when mung bean was cultivated in more humid environments (KES or AdES). These characters in a majority of accessions had high values when seed reproduction was performed in dry climate at AES. This is well in line with the data of other researchers, who reported that under higher humidity there was a decrease in seed germination because metabolic process tended to go faster, thus worsening the quality of seeds (Trisvyatsky, 1966; Adamova, 1971b). According to O. P. Adamova (Adamova, 1971a), when mung bean accessions were reproduced in Uzbekistan, their seed germination, like with other legume crops, was higher than in Abkhazia.

It should be also taken into account that higher humidity combined with higher temperatures accelerates the development of microorganisms on seed surface, which leads to even more rapid reduction and deterioration of seed germination (Maui, 2015; Kirik, Pikovsky, 2017). Accelerated development of microorganisms was registered during our experiments on the seeds reproduced at AdES: greater part of the seed material was affected by fungi and other diseases. So, it is natural that the germination of seeds at AdES was the lowest.

On the other hand, it is well known that the smaller are the seeds, the more active is their enzyme activity. Small-seeded plant forms possess more powerful and more stable vitality, and are able to retain their seed germination longer (Adamova, 1971b). The results of our research confirmed this fact: the larger seeds at KES had lower values of seed germination, germination energy and vigor that the smaller ones reproduced at AES.

Summarizing all of the abovementioned, it is possible to conclude that in our experiments the greatest effect on the tested characteristics was produced by specific individual features of accessions; the year, place and conditions of seed reproduction had lesser effects. It should be mentioned that, despite high variabilities of the studied morphological and physiological indicators and their dependence on the genotype and seed growing conditions, it was possible to identify mung bean varieties with stable and high levels of seed germination, germination energy and vigor, combined with medium sprout weight values: k-14407 and k-14451. As for accessions k-14401, k-14403 and k-14408, they are the best in terms of economic value, as they demonstrated the highest sprout weights, regardless of the site of seed reproduction.

Conclusion

The accessions of *Vigna radiata* from Kenya demonstrated high variability in morphological, agronomic and physiological characteristics of their seeds and sprouts. A statistically significant effect on all these variable characters was produced by the genotype, the year of seed reproduction, and the ecogeographic environments where the seeds were formed. Individual features of the accessions provided the strongest effect on all characteristics; the effect of the site of reproduction and meteorological conditions (precipitation amounts and sums of active temperatures) was less strong. Abundant rainfalls during the plant growing season reduced the sowing qualities of seeds. The dry climate of Astrakhan Province proved to be more favorable for mung bean cultivation.

The effect of weather conditions, recorded during the growing season, on the variability of morphological characters in mung bean sprouts was weaker than on the seed germination indicators.

The weight of a mung bean sprout is interrelated with seed germination energy, stem length and diameter, and leaf length. Seed hardness is negatively correlated with seed germination, germination energy, and seed vigor, and positively correlated with small seed size.

Among the studied accessions, there are mung bean varieties with high and stable indicators of seed germination, germination energy, and seed vigor, morphological characteristics, and weight of sprouts. These varieties are promising for large-scale commercial cultivation of mung bean for microgreen production.

This study was implemented within the framework of the State Task in accordance with the topical plan of VIR for Project No. 0662-2019-0002 "Scientific support for effective utilization of the global genetic diversity of grain legume crops and their wild relatives from the VIR collection".

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0002 «Научное обеспечение эффективного использования мирового генофонда зернобобовых культур и их диких родичей коллекции ВИР».

References/Литература

Adamova O.P. Effect of conditions of growing pulses on seed formation. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1971a;45(3):151-160. [in Russian] (Адамова О.П. Влияние условий выращивания зерновых бобовых на формирование семян. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1971a;45(3):151-160).

Adamova O.P. Some biological characters of pulse seeds. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1971;45(3):145-150. [in Russian] (Адамова О.П. Некоторые биологические особенности семян бобовых. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1971b;45(3):145-150).

Ebert A. High value specialty vegetable produce. In: K.V. Peter, P. Hazra (eds). *Handbook of Vegetables*. Houston, USA: Studium Press LLC; 2015:p.119-143.

Ivanter E.V., Korosov A.V. Introduction to quantitative biology (Vvedeniye v kolichestvennuyu biologiyu). Petrozavodsk; 2003. [in Russian] (Ивантер Е.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск; 2003).

Kirik M., Pikovsky M. Diagnostics of diseases of seeds of peas and soybeans (Diagnostika hvorob nasinnya gorohu ta soi). *Propozitsiya =Proposition*. 2017;(1):116-120. [in Ukrainian] (Кирик М., Піковський М. Діагностика хвороб насіння гороху та сої. *Пропозиція*. 2017;(1):116-120).

Kyriacou M.C., Rouphael Y., Di Gioia F., Kyratzis A., Serio F., Renna M. et al. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;57:103-115. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.09.005

Likhachev B.S. Determination of seed vigor of grain crops by morphological and physiological assessment of sprouts: methodological guidelines (Opredeleniye sily rosta semyan zernovykh kultur po morfo-fiziologicheskoy otsenke prorostkov: metodicheskoye ukazaniye). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Лихачев Б.С. Определение силы роста семян зерновых культур по морфо-физиологической оценке проростков: методическое указание. Ленинград, ВИР; 1975).

Likhachev B.S. Interrelation between seed vigor and growth, development and productivity of plants grown of them. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1984;89:81-88. [in Russian] (Лихачев Б.С. Связь силы роста семян с ростом, развитием и продуктивностью формирующихся из них растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1984;89:81-88).

Likhachev B.S., Shevchenko Z.N. About the variation in germination of pea and chickpea seeds (O raznokachestvennosti prorastaniya semyan gorokha i nuta). *Bulletin of the N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry.* 1975;53:69-72. [in Russian] (Лихачев Б.С., Шевченко З.Н. О разнокачественности прорастания семян гороха и нута. *Бюллетень Всесоюзного НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1975;53:69-72).

Market Access Database. European Commission. 2018. Available from: http://madb.europa.eu/madb/statistical_form.htm [accessed Apr. 2, 2020].

Maui A.A. Disease of soybean seeds and their control measures. *Science Almanac*. 2015;2(4):163-166. [in Russian] (Мауи А.А. Болезни семян сои и меры борьбы с ними. *Научный альманах*. 2015;2(4):163-166). DOI: 10.17117/na.2015.02.163

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

Rakovskaya N.V., Zabegaeva O.N., Dzyubenko E.A. Seed quality evaluation in the collection of *Cyamopsis tetragonoloba* after long-term storage under uncontrolled conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):48-58. [in Russian] (Раковская Н.В., Забегаева О.Н., Дзюбенко Е.А. Оценка качества семян циамопсиса четырехкрыльникового при длительном хранении в неконтролируемых условиях. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):48-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-48-58

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].

Shi Z., Yao Y., Zhu Y., Ren G. Nutritional composition and antioxidant activity of twenty mung bean cultivars in China. *The Crop Journal*. 2016;4(5):398-406. DOI: 10.1016/j.cj.2016.06.011

Tang D., Dong Y., Ren H., Li L., He C. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). *Chemistry Central Journal*. 2014;8(1):4. DOI: 10.1186/1752-153X-8-4

Trisvyatsky L.A. Grain storage (Khraneniye zerna). Moscow; 1986. [in Russian] (Трисвятский Л.А. Хранение зерна. Москва; 1986).

Ullah R., Ullah Z., Al-Deyab S.S., Adnan M., Tariq A. Nutritional assessment and antioxidant activities of different varieties of *Vigna radiata*. *The Scientific World Journal*. 2014;(4);871753. DOI: 10.1155/2014/871753

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

Сушкевич А.В., Забегаева О.Н., Бурляева М. О. Влияние условий выращивания и года репродукции на посевные качества семян и морфофизиологические показатели проростков *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):73-86. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-73-86

Sushkevich A.V., Zabegaeva O.N., Burlyaeva M.O. The effect of growing conditions and the year of reproduction on sowing qualities of seeds, morphological and physiological characteristics in sprouts of *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.2020;181(2):73-86.DOI:10.30901/2227-8834-2020-2-73-86

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/10.30901/2227-8834-2020-2-73-86

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Sushkevich A.V. https://orcid.org/0000-0001-5736-6271
Zabegaeva O.N. https://orcid.org/0000-0002-6316-3232
Burlyaeva M.O. https://orcid.org/0000-0002-3708-2594

Использование молекулярно-генетического и фитопатологического методов для идентификации генов эффективной устойчивости к листовой ржавчине у образцов эгилопсов

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-87-95
УДК 633.11:632.937.14
Поступление/Received: 13.01.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

CC BY

Л. Г. ТЫРЫШКИН, М. А. КОЛЕСОВА

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

The use of molecular-genetic and phytopathological methods to identify genes for effective leaf rust resistance in *Aegilops* accessions

L. G. TYRYSHKIN, M. A. KOLESOVA

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
✉ *tyryshkinlev@rambler.ru*

Актуальность. Идентификация генов устойчивости к болезням является важнейшим этапом при рекомендации для использования образцов в селекции на резистентность. Для этого применяются три метода: гибридологический анализ, фитопатологический тест и ДНК-маркирование. Метод ПЦР-маркеров для идентификации генов устойчивости пшеницы и ее родичей к листовой ржавчине широко используется в нашей стране. Однако наличие фрагмента амплификации определенной длины вряд ли может рассматриваться как доказательство наличия гена устойчивости (вследствие рекомбинаций и мутаций в течение эволюции вида). Цель настоящего исследования – сравнение молекулярно-генетического и фитопатологического методов идентификации эффективных генов ювенильной устойчивости к листовой ржавчине *Lr9* и *Lr41* у образцов трех видов рода *Aegilops* L. **Материалы и методы.** Идентифицировали гены устойчивости *Lr9* и *Lr41* у сорока образцов рода *Aegilops* с помощью ПЦР при использовании праймеров J13 и GDM35 соответственно. Фитопатологический тест проводили при заражении проростков популяцией возбудителя и клонами гриба, вирулентными к линии пшеницы с геном *Lr*9. **Результаты и выводы.** По результатам молекулярного маркирования ген *Lr41* присутствует у двенадцати образцов *Ae. tauschii* Coss.; *Lr9* – у четырех образцов *Ae. umbellulata* Zhuk. и четырех образцов *Ae. biuncialis* Vis. Все образцы *Ae. tauschii*, два образца *Ae. umbellulata* и три *Ae. biuncialis*, у которых по результатам молекулярного тестирования имеются эффективные гены резистентности, поражались популяцией патогена. Для трех образцов *Ae. umbellulata*, не имеющих гена *Lr9* по результатам ДНК-маркирования, показано его наличие фитопатологическим тестом. Таким образом, наблюдаются значительные различия в постулировании генов резистентности к ржавчине *Lr9* и *Lr41* у образцов *Aegilops* при использовании фитопатологического теста и ДНК-маркирования.

Ключевые слова: *Aegilops*, ювенильная устойчивость, молекулярно-генетический анализ, фитопатологический тест.

Background. Identification of effective genes for disease resistance in resistant plant samples is the most important step toward recommending them for breeding. There are three main methods for such identification: hybridological analysis, phytopathological test, and DNA marking. The method of PCR markers is widely used in Russia to identify resistance genes in wheat relatives, including the genus *Aegilops* L. for resistance to leaf rust. From a theoretical viewpoint, the presence of a certain amplification fragment can hardly be interpreted as a definite proof of the presence of a resistance gene: during the species evolution, recombinations and mutations could occur, resulting in disturbance of the fragment's presence and phenotypic expression of its connection with resistance. The purpose of this work was a comparison between molecular-genetic and phytopathological methods to identify leaf rust resistance genes *Lr9* and *Lr41* in three *Aegilops* species. **Materials and methods**. We identified leaf rust resistance genes *Lr9* and *Lr41* in forty *Aegilops* accessions using PCR with J13 and GDM35 primers, respectively. In the phytopathological test, the seedlings were infected with the pathogen population (avirulent to *Lr9* and *Lr41* genes) and the fungus clones virulent to the wheat line with the *Lr9* gene. **Results and conclusions.** According to the data of molecular marking, the *Lr41* gene was present in twelve *Ae. tauschii* Coss. accessions; *Lr9* in four *Ae umbellulata* Zhuk. accessions and four of *Ae. biuncialis* Vis. All accessions of *Ae. tauschii*, two of *Ae. umbellulata*, and three of *Ae. biuncialis*, possessing effective resistance genes according to the molecular testing, were susceptible to the pathogen population. For three *Ae. umbellulata* accessions resistant to the population, where DNA marking failed to identify an *Lr9* gene, the presence of this gene was shown by a phytopathological test. Thus, there were significant differences in the postulation of effective *Lr9* and *Lr41* leaf rust resistance genes in *Aegilops* accessions after a phytopatological test and the use of DNA markers.

Key words: juvenile resistance, leaf rust, molecular-genetic analysis, phytopathological test.

Введение

Листовая (бурая) ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) – высоко вредоносная болезнь мягкой пшеницы, распространенная практически во всех регионах возделывания культуры. Наиболее экономически выгодным и экологически безопасным методом борьбы с данным заболеванием является возделывание устойчивых сортов. Несмотря на то что количество генов резистентности пшеницы к листовой ржавчине весьма велико (только генов с постоянными символами *Lr* более 77), запас высокоэффективных генов устойчивости в генофонде *Triticum aestivum* L. крайне мал; по нашим данным, в настоящее время к отдельным популяциям возбудителя из России в ювенильной фазе высокоэффективны только гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41* (= *Lr39*), *Lr47*, причем три первых уже потеряли свою эффективность в ряде регионов нашей страны. Выращивание сортов, защищенных единичными олигогенами устойчивости, часто приводит к быстрому накоплению вирулентных генотипов патогена и, следовательно, фенотипической потере устойчивости. Вследствие этого, поиск и создание доноров новых эффективных генов резистентности – крайне актуальная задача.

Межвидовая и межродовая гибридизация рассматривается как важный подход к расширению генетического разнообразия пшеницы по устойчивости к листовой ржавчине. Значительный интерес для интрогрессии представляют виды рода *Aegilops* L.: так, в настоящее время от *Ae. tauschii* Coss. в мягкую пшеницу переданы четыре гена устойчивости с постоянными символами (*Lr21*, *Lr22a*, *Lr32*, *Lr39* [= *41*]); от *Ae. speltoides* Tausch – шесть генов (*Lr28*, *Lr35*, *Lr36*, *Lr47*, *Lr51* и *Lr66*); от *Ae. umbellulata* Zhuk. – два гена (*Lr9* и *Lr76*); по одному гену устойчивости привнесены в геном мягкой пшеницы от *Ae. ventricosa* Tausch (*Lr37*), *Ae. kotschyi* Boiss. (*Lr54*), *Ae. sharonensis* Eig (*Lr56*), *Ae. geniculata* Roth (*Lr57*), *Ae. triuncialis* L. (*Lr58*), *Ae. peregrina* (Hack.) Maire et Weiller (*Lr59*), *Ae. neglecta* Req. ex Bertol. (*Lr62*) (McIntosh et al., 2013; McIntosh et al., 2016).

В нашем исследовании при изучении проростковой устойчивости к листовой ржавчине у образцов *Ae. tauschii*, *Ae. umbellulata* и *Ae. biuncialis* Vis. из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР) были выделены устойчивые формы (Tyryshkin et al., 2006; Tyryshkin et al., 2012; Kolesova, Tyryshkin, 2015; Kolesova, 2017).

Изучение генетического контроля устойчивости у выделенных резистентных образцов является важнейшим этапом при их рекомендации для использования в селекции, так как позволяет избежать широкого вовлечения в селекционный процесс одних и тех же генов устойчивости, оптимизировать схемы скрещиваний и отбора в расщепляющихся популяциях. Особенно важна идентификация генов устойчивости у родичей пшеницы, поскольку интрогрессивная гибридизация – это долговременный, трудоемкий и дорогостоящий процесс, и нежелательно вовлекать в него источники одних и тех же генов резистентности.

Для изучения генетического контроля устойчивости к листовой ржавчине и идентификации генов в настоящее время используются три основных метода: гибридологический анализ, фитопатологический тест и молекулярное (ПЦР / ДНК) маркирование. Гибридологический анализ, несмотря на надежность его результатов, весьма трудоемок и долог, особенно для диких родичей пшеницы. Проведение фитопатологического теста при изучении высокоэффективной резистентности возможно только при наличии генотипов возбудителей болезней, маркированных вирулентностью к эффективным генам резистентности. С нашей точки зрения, это весьма надежный метод идентификации конкретных генов устойчивости (Tyryshkin, 2006, 2010), хотя в работах отечественных исследователей в последнее время указывается на его слабую информативность для характеристики генетической детерминации устойчивости у изучаемого материала без использования молекулярных подходов (Shishkin et al., 2018; Gultyaeva et al., 2019).

Метод использования ПЦР-маркеров для идентификации генов устойчивости пшеницы и ее родичей, в том числе и представителей рода *Aegilops*, к листовой ржавчине в последнее время достаточно широко используется в нашей стране (Dzhenin et al., 2009; Davoyan et al., 2012; Gultyaeva et al., 2014).

Однако следует отметить, что с теоретической точки зрения наличие фрагмента амплификации определенной длины вряд ли может рассматриваться как окончательное доказательство наличия функционального аллеля гена устойчивости, поскольку в течение эволюции вида могли происходить рекомбинации и мутации, приводящие к нарушению связи наличия фрагмента амплификации и фенотипического проявления резистентности.

Цель настоящего исследования – сравнение молекулярно-генетического и фитопатологического методов идентификации эффективных генов ювенильной устойчивости к листовой ржавчине *Lr9* и *Lr41* у образцов *Ae. tauschii*, *Ae. umbellulata* и *Ae. biuncialis*.

Материалы и методы

Материал исследования включал двадцать четыре образца *Ae. tauschii*: к-82, к-113, к-163, к-277, к-285, к-336, к-341, к-342, к-467, к-632, к-768, к-840, к-1031, к-1098, к-1112, к-1227 (Азербайджан), к-426 (Туркменистан), к-525, к-1159, к-1202, к-1564 (Армения), к-677 (Кыргызстан), к-997 (Афганистан) и к-3604 (Иран); десять образцов *Ae. umbellulata*: к-1283 (Армения), к-1461 (Азербайджан), к-2023, к-2029, к-2745 (Иран), к-3284, к-3287, к-3294, к-3312, к-3325 (Турция); шесть образцов *Ae. biuncialis*: к-3, к-644, к-2531, к-3003 (Россия), к-2892, к-2900 (Болгария), из коллекции генетических ресурсов растений ВИР. В качестве контрольных носителей генов *Lr41* и *Lr9* использовали образцы мягкой пшеницы KS90W-GRC10 (ген *Lr41*) (Singh et al., 2004) и почти изогенную линию сорта ‘Тэтчер’ Th*Lr9* соответственно.

Для идентификации эффективных генов устойчивости методом молекулярно-генетического маркирования тотальную ДНК выделяли суммарно из пяти листьев 10-дневных проростков микрометодом в пробирках типа Eppendorf по методике, предложенной К. Эдвардс с соавторами (Edwards et al., 1991) в модификации Д. Б. Дорохова и Э. Клоке (Dorokhov, Klocke, 1997).

Скрининг образцов *Ae. tauschii* на наличие гена *Lr41* проводили при помощи пары праймеров к микросателлитному локусу *Xgdm35*: GDM35-L (5’-CCTGCTCTGCCCTAGATACG-3’) и GDM35-R (5’-ATGTGAATGTGATGCATGCA-3’), тесно сцепленному с данным геном резистентности у образцов мягкой пшеницы (Pestsova et al., 2000; Singh et al., 2004). При изучении образцов *Ae. umbellulata*

и *Ae. biuncialis* для ПЦР-анализа использовали пару праймеров к высокоспецифичному у мягкой пшеницы, по литературным данным, STS-маркеру эффективного гена устойчивости *Lr9* (Schachermayr et al., 1994). Последовательности праймеров J13/1 – 5'-TCCTTTTATTCCG CACGCCGG-3'; J13/2 – 5'-CCACACTACCCCAAAGAGACG-3'. Данные праймеры ранее уже были использованы для идентификации этих генов резистентности у образцов рода *Aegilops* (например, Dzhenin et al., 2009; Davoyan et al., 2012).

Реакционная смесь общим объемом 25 мкл содержала 2 мкл раствора ДНК (50 нг/мкл), 0,2 мкл Taq-полимеразы (5 ед/мкл), 2,5 мкл 10× реакционного ПЦР-буфера, предложенного фирмой – производителем фермента, 1,25 мкл каждого праймера (5 mM), 1 мкл (2,5 mM) раствора дезоксинуклеотидов (Chelkowski et al., 2003).

Полимеразную цепную реакцию проводили в амплификаторе iCycler Bio- Rad (США) по следующим программам: с праймерами Xgdm35 – 4 мин при температуре 94°C; 30 циклов (30 с – 94°C, 30 с – 55°C, 30 с – 72°C); финальная элонгация 5 мин при 72°C (Pestsova et al., 2000); с праймерами J13 – 94°C – 6 мин, 45 циклов (92°C – 60 с, 62°C – 60 с, 72°C – 120 с), 72°C – 4 мин (Schachermayr et al., 1994).

Электрофорез амплифицированных фрагментов проводили в 2-процентном агарозном геле в 1× TBE-буфере, окрашивали этидиум бромидом и фотографировали в ультрафиолетовом свете. Для оценки размера амплифицированных фрагментов после ПЦР с праймерами J13 и Xgdm35 использовали маркеры молекулярной массы FastRuler™, 50–1500 пн (Fermentas) и GeneRuler™Plus, 100 пн (Fermentas) соответственно.

Сорок образцов рода *Aegilops*, а также почти-изогенные по генам устойчивости к листовой ржавчине линии серии Тэтчер и образцы с генами *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr9 – Lr13*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15 – Lr21*, *Lr22a*, *Lr22b*, *Lr23 – Lr26*, *Lr29*, *Lr27+31*, *Lr32 – Lr37*, *Lr41*, *Lr44 – Lr49*, *Lr52*, *Lr57*, *Lr60* и *Lr64* были изучены по ювенильной устойчивости к листовой ржавчине. По 15–30 семян каждого образца высевали в кюветы на смоченную водой вату; кюветы с наклюнувшимися семенами переносили на светоустановку с освещенностью 2500 люкс и температурой 20–22°C. Интактные растения в стадии 1–2 листьев, включая те проростки, от которых отбирался материал для молекулярного маркирования, опрыскивали из пульверизатора водной суспензией уредоспор возбудителя болезни (30 тыс. спор/мл). Для инокуляции использовали сборную популяцию *P. triticina* (смесь сборов с нескольких восприимчивых сортов пшеницы; Северо-Западный регион России, Северный Кавказ, Поволжье). Зараженные растения накрывали полиэтиленовой пленкой на одни сутки. Типы реакции учитывали на 12-е сутки после заражения по общепринятой шкале (Mains, Jackson, 1926) с модификациями, где 0 – отсутствие симптомов; 0; – некротические пятна без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – крупные пустулы без некроза; е.п. – единичные пустулы без некроза; х – на одном листе присутствуют пустулы восприимчивого и устойчивого типа. Типы реакции 0, 0; и 1 соответствуют высокой устойчивости, 2, е.п. и х – среднему уровню устойчивости и 3 – восприимчивости. Все формы, выделившиеся по устойчивости в одном эксперименте, оценивали не менее чем в трех дополнительных независимых опытах.

Образцы *Ae. umbellulata* также заражали тремя монопустульными изолятами патогена, ранее независимо выделенными в популяции *P. triticina* из Западной Сибири, вирулентными к линии пшеницы с геном *Lr*9. Для заражения использовали отрезки листьев тех растений, которые были использованы для проведения молекулярного маркирования.

Результаты

У двенадцати из двадцати четырех изученных образцов *Ae. tauschii* выявлены фрагменты ожидаемого размера 190 пн после амплификации их ДНК с праймерами к микросателлитному локусу *Xgdm35*; соответственно, согласно результатам молекулярно-генетической идентификации, можно предполагать, что образцы к-336, к-341, к-342, к-632, к-768, к-840, к-1098, к-1159, к-1112, к-1202, к-1564 и к-3604 имеют функциональный аллель гена *Lr41* (табл. 1). Электорофореграмма продуктов амплификации у пяти образцов представлена на рисунке 1.

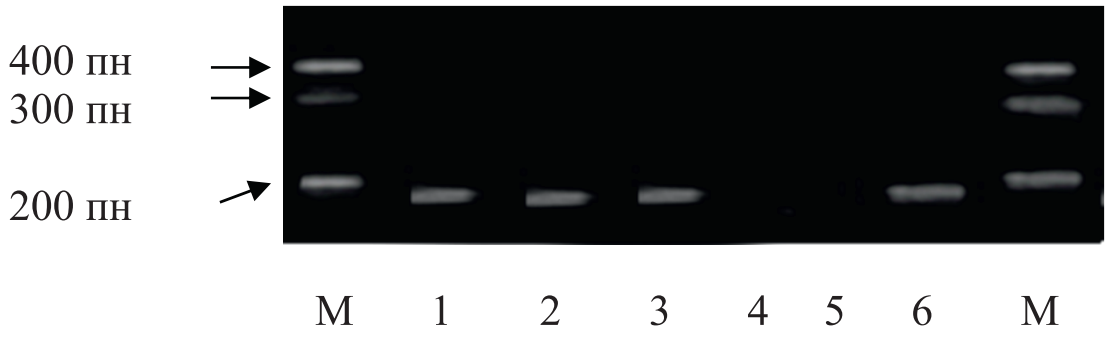


Рис. 1. Продукты амплификации микросателлитного маркера Xgdm35:
M – маркер молекулярной массы, пн; мягкая пшеница 1 – KS90WGRC10;
образцы *Aegilops tauschii*: 2 – к-336, 3 – к-341, 4 – к-82, 5 – к-1227, 6 – к-3604

Fig. 1. Amplification products of the microsatellite marker Xgdm35:
M – marker of molecular weight, bp; bread wheat 1 – KS90WGRC10;
Aegilops tauschii accessions: 2 – k-336, 3 – k-341, 4 – k-82, 5 – k-1227, 6 – k-3604

Таблица 1. **Характеристика образцов *Aegilops tauschii* по наличию специфического амплифицированного фрагмента микросателлитного локуса *Xgdm35* и ювенильной устойчивости к листовой ржавчине**

Table 1. **Characterization of *Aegilops tauschii* accessions for the presence of an amplified fragment of the microsatellite locus *Xgdm35* and juvenile resistance to leaf rust**

№ по каталогу ВИР	Тип реакции на заражение сборной популяцией	Наличие амплифицированного фрагмента
82	3	–
113	3	–
163	3	–
277	3	–
285	3	–
336	3	+
341	3	+
342	3	+
426	3	–
467	3	–
525	3	–
632	3	+
677	3	–
768	3	+
840	3	+
997	3	–
1031	3	–
1098	3	+
1159	3	+
1112	3	+
1202	3	+
1227	3	–
1564	3	+
3604	3	+

Специфический продукт амплификации длиной 1100 пн, характерный для образцов мягкой пшеницы, имеющих ген устойчивости *Lr*9, был выявлен у четырех из десяти изученных образцов *Ae. umbellulata* – к-3294, к-1461, к-3284, к-3287 – после амплификации с праймерами J13 (табл. 2, рис. 2). Таким образом, согласно данным ДНК-маркирования, эти образцы должны иметь данный ген резистентности.

У четырех образцов *Ae. biuncialis* из шести изученных выявлен продукт амплификации размером 1100 пн после ПЦР с праймерами J13 (табл. 3), то есть согласно данным молекулярного маркирования эти образцы защищены данным геном устойчивости.

Заражение проростков линий и сортов пшеницы с известными сорока тремя *Lr*-генами устойчивости показало, что только гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41* и *Lr47* были

Таблица 2. Характеристика образцов *Aegilops umbellulata* по наличию специфического амплифицированного фрагмента после ПЦР с праймерами J13 и ювенильной устойчивости к популяции и изолятам возбудителя листовой ржавчины

Table 2. Characterization of *Aegilops umbellulata* accessions for the presence of a specific amplified fragment after PCR with J13 primers and juvenile resistance to leaf rust

№ по каталогу ВИР	Тип реакции на заражение, инокулюм				Наличие амплифицированного фрагмента
	Популяция	Клоны, вирулентные к *Lr9*			
		1	2	3	
1283	3	3	3	3	–
1461	0	3	3	3	+
2023	3	3	3	3	–
2029	3	3	3	3	–
2745	0	3	3	3	–
3284	3	3	3	3	+
3287	0	3	3	3	+
3294	3	3	3	3	+
3312	0	3	3	3	–
3325	0	3	3	3	–
Th*Lr*9	0	3	3	3	+

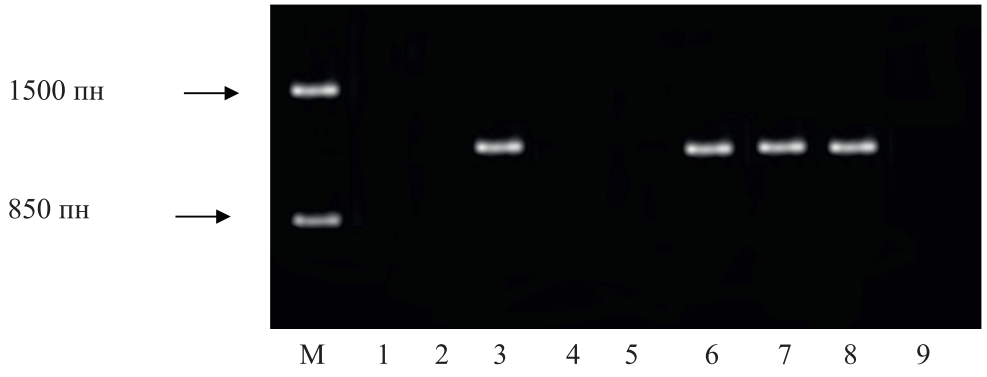


Рис. 2. Продукты амплификации после ПЦР с использованием праймеров J13:
M – маркер молекулярного веса, пн, 2 – Thatcher, 3 – Th*Lr*9.
Образцы *Aegilops umbellulata*: 1 – к-3325, 4 – к-2029, 5 – к-3312, 6 – к-1461, 7 – к-3284, 8 – к-3287, 9 – к-2745

Fig. 2. Amplification products after PCR with primers J13:
M – marker of molecular weight, bp, 2 – Thatcher, 3 – *ThLr9*.
Aegilops umbellulata accessions: 1 – k-3325, 4 – k-2029, 5 – k-3312, 6 – k-1461, 7 – k-3284, 8 – k-3287, 9 – k-2745

Таблица 3. Характеристика образцов *Aegilops biuncialis* по наличию амплифицированного фрагмента после ПЦР с праймерами J13 и ювенильной устойчивости к листовой ржавчине

Table 3. Characterization of *Aegilops biuncialis* accessions for the presence of an amplified fragment after PCR with J13 primers and juvenile resistance to leaf rust

№ по каталогу ВИР	Тип реакции на заражение сборной популяцией	Наличие амплифицированного фрагмента
3	X	+
644	X	+
2531	0	–
2892	0	–
2900	0	+
3003	3	+
Th*Lr9*	0	+

высокоэффективны против популяции возбудителя листовой ржавчины, используемой в данном исследовании (типы реакции 0 и 0;).

К этой популяции возбудителя болезни были восприимчивы все изученные образцы *Ae. tauschii* (тип реакции 3), включая двенадцать, которые имели эффективный ген *Lr41* по результатам молекулярной идентификации. Таким образом, по результатам заражения патогеном ни один из этих образцов не мог иметь данный ген резистентности.

Из образцов *Ae. umbellulata* к используемой в работе популяции патогена были устойчивы (тип реакции 0) пять (к-1461, к-2745, к-3287, к-3312 и к-3325); образцы к-1283, к-2023, к-2029, к-3284, к-3294 были восприимчивы, причем два последних имеют эффективный ген *Lr9* согласно данным молекулярного маркирования.

Результаты искусственного заражения популяцией патогена указывают на отсутствие эффективных генов резистентности у образцов к-1283, к-2023, к-2029, к-3284, к-3294. Все устойчивые генотипы поражались тремя монопустульными изолятами *P. triticina*, вирулентными к линии пшеницы с геном *Lr*9 (см. табл. 2), что с высокой долей вероятности указывает на наличие у них этого гена резистентности, причем только у двух из них (к-1461 и к-3287) данный ген идентифицируется по результатам ДНК-маркирования.

Три образца *Ae. biuncialis* (к-2900, к-2892, к-2531) были высокоустойчивы в стадии проростков к листовой ржавчине; (тип реакции 0). Образцы к-3, к-644 были среднеустойчивы (тип реакции X), а образец к-3003 восприимчив (тип реакции 3) к сборной популяции патогена (см. табл. 3), что доказывает отсутствие у них эффективных против данной популяции генов резистентности; однако по результатам анализа продуктов амплификации каждый из них имеет ген *Lr9*.

Обсуждение

Главной, если не единственной целью идентификации известных эффективных генов устойчивости к болезням у сородичей пшеницы является выявление тех образцов, которые имеют новые, до сих пор не интродуцированные в геном культурного вида гены резистентности. Достаточно очевидно, что если выделенный устойчивый образец имеет один высокоэффективный ген устойчивости и этот ген уже присутствует у линий мягкой пшеницы, его повторная интрогрессия в результате долгого трудоемкого процесса межродовой (межвидовой) гибридизации с практической точки зрения не имеет смысла. Так, например, до сих пор эффективный на территории РФ ген *Lr41* был передан в мягкую пшеницу по крайней мере от пяти образцов *Ae. tauschii* различного географического происхождения и одного образца *Ae. cylindrica* Host (Singh et al., 2004). С помощью гибридологического и молекулярного анализов показана идентичность либо аллельность генов *Lr39* и *Lr41* (Singh et al., 2004).

В настоящее время существуют три основных способа идентификации известных генов резистентности (в том числе и к листовой ржавчине). Гибридологический анализ у диких родичей, в отличие от культурного вида, достаточно технически сложен и, главное, труднопременим, поскольку требует наличия тестера конкретного гена резистентности. Данная проблема у мягкой пшеницы легко решается путем применения в скрещиваниях почти изогенных по конкретному *Lr*-гену линий; в случае дикого родича идеальным было бы использование того образца, от которого ген резистентности был передан в геном *T. aestivum*, что практически не всегда возможно.

Фитопатологический тест позволяет узнать, является ли изучаемый образец устойчивым к данной популяции патогена, а также одинаково ли «узнается» ген резистентности изучаемого устойчивого образца и известный ген резистентности.

Анализ продуктов амплификации (наличие / отсутствие, размер) после ПЦР с конкретной парой праймеров (в том числе и использованных в настоящем исследовании) во многих работах отечественных исследователей рассматривается как надежный метод идентификации генов устойчивости к листовой ржавчине как в образцах мягкой пшеницы, так и среди ее родичей, в том числе и представителей рода *Aegilops*. Преимуществом данного метода является быстрота, возможность выделения ДНК и ее использования в работе в любое время, отсутствие необходимости поддержа-

ния в живом виде генотипов патогена, отсутствие влияния факторов среды на результаты. Единичные молекулярные маркеры широко используются для идентификации генов устойчивости пшеницы к листовой ржавчине (например, Urbanovich et al., 2006; Gajnullin et al., 2007; Gultyaeva et al., 2019), хотя достаточно очевидно, что амплификация фрагмента ДНК определенного размера вряд ли может рассматриваться как окончательное доказательство наличия гена устойчивости (вследствие рекомбинаций и мутаций в течение эволюции вида).

В нескольких работах отечественных исследователей данный подход был применен для идентификации эффективных генов резистентности к листовой ржавчине и у образцов *Aegilops* (Dzhenin et al., 2009; Davoyan et al., 2012; Gultyaeva et al., 2014).

Так, с использованием ДНК-маркеров, тесно сцепленных с генами устойчивости *Lr28*, *Lr35* и *Lr47*, провели идентификацию этих генов резистентности у тринадцати образцов *Ae. speltoides* и девяти образцов *Ae tauschii* (Gultyaeva et al., 2014). Отмечена нестрогая специфичность маркеров генов *Lr28* и *Lr35*. Маркер PS10 гена *Lr47* характеризовался высокой эффективностью, однако никаких доказательств этой эффективности для образцов вида – донора гена в статье не приведено.

В работе Дженина с соавторми (Dzhenin et al., 2009) на основе присутствия специфического продукта амплификации было постулировано наличие гена *Lr9* у образца к-1652 *Ae. triuncialis*; однако, этому выводу противоречили результаты заражения этого образца и линии пшеницы с данным геном тест-клонами патогена.

С помощью диагностических молекулярных маркеров, сцепленных с известными генами устойчивости к листовой ржавчине *Lr9*, *Lr35* и *Lr47*, был проведен скрининг образцов ДНК диких сородичей, синтетических форм и интрогрессивных линий мягкой пшеницы (Davoyan et al., 2012). Ген *Lr9* был идентифицирован в геноме всех изученных образцов вида *Ae. umbellulata*, гены *Lr35* и *Lr47* – в *Ae. speltoides*. Отметим, что ранее была показана восприимчивость к ржавчине одного из этих образцов *Ae. umbellulata* – к-1283 (Kolesova, Tyryshkin, 2015), что противоречит выводу о наличии у него данного гена резистентности.

По результатам настоящей работы наблюдаются значительные различия в постулировании эффективных генов резистентности к листовой ржавчине *Lr9* и *Lr41* у представителей рода *Aegilops* при использовании фитопатологического теста и ДНК-маркирования.

Ранее в нашей работе было показано, что микросателлитный локус *Xgdm35* не может быть использован для его идентификации у резистентных образцов *Ae. tauschii* (Tyryshkin, Kolesova, 2009). Так, у двух высокоустойчивых к листовой ржавчине форм к-624 и к-3299 отсутствовали амплифицированные фрагменты локуса *Xgdm35*. При этом с помощью фитопатологического теста и гибридологического анализа было доказано наличие у них именно эффективного гена ювенильной устойчивости *Lr41* (Kolesova, Tyryshkin, 2012).

Результаты настоящей работы также указывают на значительные расхождения в идентификации эффективных генов устойчивости к листовой ржавчине у образцов трех видов рода *Aegilops* с помощью ПЦР-маркеров и фитопатологического изучения.

Так, специфический продукт амплификации, тесно сцепленный с геном устойчивости *Lr41*, обнаружен у двенадцати образцов *Ae. tauschii*. Поскольку используемая в работе популяция патогена не поражала линию пшеницы с данным геном, на основании молекулярного маркирования можно было бы предположить, что все эти образцы высокоустойчивы к данной популяции. Однако фитопатологический тест доказал их восприимчивость.

Продукт амплификации размером 1100 пн, характерный для образцов мягкой пшеницы, имеющих ген устойчивости *Lr9*, был выявлен у четырех из десяти изученных образцов *Ae. umbellulata* после амплификации ДНК с праймерами J13. Данный ген устойчивости являлся эффективным против сборной популяции возбудителя в настоящей работе, и следовательно, эти образцы должны быть резистентными. Однако образцы к-3294 и к-3284 по результатам фитопатологического тестирования оказались восприимчивыми. Среди пяти устойчивых образцов специфический продукт амплификации обнаружен только у двух. Это позволяет предполагать, что образцы к-3325, к-2745 и к-3312 не имеют гена *Lr9* и, следовательно, имеют новые эффективные гены резистентности, перспективные для переноса в геном мягкой пшеницы. Результаты заражения этих образцов тремя независимо выделенными изолятами *P. triticina*, вирулентными к изогенной линии с геном *Lr9*, наоборот, позволяют предполагать наличие у них этого гена. В пользу этого вывода указывают ранее полученные данные о моногенном характере наследования резистентности к болезни у образцов к-3287 (*Lr9*) и к-3312, а также отсутствию расщепления по признаку в комбинациях их скрещивания между собой (Kolesova, Tyryshkin, 2015).

Среди изученных шести образцов *Ae. biuncialis* у четырех выявлен диагностический маркер гена *Lr9*, однако три формы поражались ржавчиной, то есть функциональный аллель этого гена не может присутствовать у них.

Достаточно резкие отличия результатов молекулярного маркирования и фитопатологического теста, очевидно, указывают на высокую частоту ошибочного постулирования эффективных генов резистентности к листовой ржавчине у образцов рода *Aegilops* с помощью первого метода.

Таким образом, мы считаем, что использование только анализа наличия / отсутствия продуктов амплификации с конкретными праймерами не может надежно определять наличие или отсутствие эффективных генов устойчивости у образцов диких родичей пшеницы. Более надежные результаты могут быть получены с помощью фитопатологического теста, которые по возможности должны подкрепляться и гибридологическим анализом.

Заключение

Метод ДНК-маркеров широко используется в нашей стране для идентификации генов устойчивости пшеницы и ее родичей к листовой ржавчине. Однако нами показаны значительные различия в постулировании эффективных генов резистентности *Lr9* и *Lr41* у образцов *Aegilops* при использовании фитопатологического теста и ДНК-маркирования. Очевидно, результаты последнего метода не могут рассматриваться как надежное доказательство присутствия / отсутствия конкретных аллелей генов устойчивости у родичей пшеницы.

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 Groat Crops at VIR for the Development of an Optimized Genebank and Its Sustainable Utilization in Plant Breeding and Crop Production".

References/Литература

Chelkowski J., Golka L., Stepien L. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher. *Journal of Applied Genetics*. 2003;44(3):323-338.

Davoyan E.R., Davoyan R.O., Bebyakina I.V., Davoyan O.R., Zubanova Y.S., Kravchenko A.M. et al. Identification of a leaf rust resistance gene in species of *Aegilop*s L., synthetic forms, and introgression lines of common wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):116-122. [in Russian] (Давоян Э.Р., Давоян Р.О., Бебякина И.В., Давоян О.Р., Зубанова Ю.С., Зинченко А.Н. и др. Идентификация генов устойчивости к листовой ржавчине в видах *Aegilops* L., синтетических формах и интрогрессивных линиях мягкой пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):116-122).

Dorokhov D.B., Klocke E. A rapid and economic technique for RAPD-analysis of plant genomes. *Russian Journal of Genetics*. 1997;33(4):358-365. [in Russian] (Дорохов Д.Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов. *Генетика*. 1997;33(4):443-450).

Dzhenin S.V., Lapochkina I.F., Zhemchuzhina A.I., Kovalenko E.D. Donors of spring wheat resistant to the leaf rust with the genetic material of *Aegilops speltoides* L., *Aegilops triuncialis* L., Dorof. et Migusch. *Russian Agricultural Sciences*. 2009;5:3-7. [in Russian] (Дженин С.В., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И., Коваленко Е.Д. Доноры устойчивости яровой мягкой пшеницы к бурой ржавчине и мучнистой росе с генетическим материалом видов *Aegilops speltoides* L., *Aegilops triuncialis* L., *Triticum kiharae* Dorof. et Migusch. *Доклады РАСХН*. 2009;5:3-7).

Edwards K., Johnstone C., Thompson C. A simple and rapid method for the preparation of plant genomic DNA for PCR analysis. *Nucleic Acids Research*. 1991;19(6):1349. DOI: 10.1093/nar/19.6.1349

Gajnullin N.R., Lapochkina I.F., Zhemchuzhina A.I., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Kovalenko E.D. Phytopathological and molecular genetic identification of leaf rust resistance genes in common wheat accessions with alien genetic material. *Russian Journal of Genetics*. 2007;43(8):1058-1064. [in Russian] (Гайнуллин Н.Р., Лапочкина И.Ф., Жемчужина А.И., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Коваленко Е.Д. Использование фитопатологического и молекулярно-генетического методов для идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов мягкой пшеницы с чужеродным генетическим материалом. *Генетика*. 2007;43(8):1058-1064).

Gultyaeva E.I., Orina A.S., Gannibal Ph.B., Mitrofanova O.P., Odintsova I.G., Laikova L.I. The effectiveness of molecular markers for the identification of *Lr28*, *Lr35*, and *Lr47* genes in common wheat. *Russian Journal of Genetics*. 2014;50(2):147-156. [in Russian] (Гультяева Е.И., Орина А.С., Ганнибал Ф.Б., Митрофанова О.П., Одинцова И.Г., Лайкова Л.И. Эффективность молекулярных маркеров для выявления генов *Lr*28, *Lr*35 и *Lr*47 у мягкой пшеницы. *Генетика*. 2014;50(2):147-156). DOI: 10.1134/S1022795414020069

Gultyaeva E.I., Shaidayuk E.L., Rsaliyev A.S. Identification of leaf rust resistance genes in spring soft wheat samples developed in Russia and Kazakhstan. *Plant Protection News*. 2019;3(101):41-49. [in Russian] (Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л., Рсалиев А.С. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов яровой мягкой пшеницы российской и казахстанской селекции. *Вестник защиты растений*. 2019;3(101):41-49). DOI: 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49

Kolesova M.A Characterization of *Aegilops biuncialis* Viz. samples for juvenile resistance to fungal diseases. *Modern Science Success*. 2017;2(9):126-129. [in Russian] (Колесова М.А. Характеристика образцов *Aegilops biuncialis* Viz. по ювенильной устойчивости к грибным болезням. *Успехи современной науки*. 2017;2(9):126-129).

Kolesova M.A, Tyryshkin L.G. Genetic control of effective juvenile resistance to foliar diseases in *Aegilops tauschii* Coss. samples. *Russian Agricultural Sciences*. 2012;6:27-30. [in Russian] (Колесова М.А., Тырышкин Л.Г. Генетический контроль эффективной ювенильной устойчивости образцов *Aegilops tauschii* Coss. к листовым болезням. *Доклады РАСХН*. 2012;6:27-30).

Kolesova M.A, Tyryshkin L.G. Characterization of samples of *Aegilops* L. species by effective resistance to diseases. *Achievements of Science and Technology of AIC.* 2015;29(7):20-23. [in Russian] (Колесова М.А., Тырышкин Л.Г. Характеристика образцов рода *Aegilops* L. по эффективной устойчивости к болезням. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):20-23).

Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;16(1):89-120.

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/macgene/2013/GeneSymbol.pdf [accessed Jan. 18, 2020].

McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J., Morris C., Appels R., Xia X.C. Catalogue of gene symbols for wheat: 2015-2016 supplement. 2016. Available from: https: //shigen. nig. ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2015. pdf [accessed Jun. 25, 2019].

Pestsova E., Ganal M.W., Röder M.S. Isolation and mapping of microsatellite markers specific for the D genome of bread wheat. *Genome*. 2000;43(4):689-697. DOI: 10.1139/gen-43-4-689

Schachermayr G., Sielder H., Gale M.D., Winzeler H., Winzeler M., Keller B. Identification and localisation of molecular markers linked to the *Lr9* leaf resistance gene of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 1994;88(1):110-115. DOI: 10.1007/BF00222402

Shishkin N.V., Derova T.G., Gultyaeva E.I., Shaydayuk E.L. Identification of the genes resistant to brown rust in winter soft wheat varieties with the use of conventional and modern research methods. *Grain Economy of Russia*. 2018;5(59):63-67. [in Russian] (Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Гультяева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Определение генов устойчивости к бурой ржавчине у сортов озимой мягкой пшеницы с использованием традиционных и современных методов исследований. *Зерновое хозяйство России*. 2018; 5(59):63-67). DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-63-67

Singh S., Franks C.D., Huang L., Brown-Guedira G.L., Marshall D.S., Gill B.S. et al. *Lr*41, *Lr*39, and a leaf rust resistance gene from *Aegilops cylindrica* may be allelic and are located on wheat chromosome 2DS. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;108(4):586-591. DOI: 10.1007/s00122-003-1477-8

Tyryshkin L.G. About DNA-markers as sole criteria for postulation of *Lr*-genes of the *Triticum aestivum* L. resistance to *Puccinia triticina* Erikss.: critical essay. *Agricultural Biology*. 2010;45(3):76-81. [in Russian] (Тырышкин Л.Г. Наличие ДНК-маркеров как критерий постуляции *Lr*-генов устойчивости пшеницы *Triticum aestivum* L. к листовой ржавчине *Puccinia triticina* Erikss.: критический взгляд. *Сельскохозяйственная биология*. 2010;45(3):76-81).

Tyryshkin L.G. Genetic control of effective juvenile resistance to leaf rust in collection samples of *Triticum aestivum* L. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(3):377-384. [in Russian] (Тырышкин Л.Г. Генетический контроль эффективной ювенильной устойчивости коллекционных образцов пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине. *Генетика*. 2006;42(3):377-384).

Tyryshkin L.G., Kolesova M.A. The possibility to identify gene *Lr*41 for leaf rust resistance in *Aegilops* L. samples with use of molecular DNA marker Xgdm35. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2009;16:23-26. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Колесова М.А. Возможность идентификации гена устойчивости к листовой ржавчине *Lr41* у образцов *Aegilops* L. с использованием молекулярного ДНК-маркера Xgdm35. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2009;16:23-26).

Tyryshkin L.G., Kolesova M.A., Chikida N.N., Ibragimova M.H. Juvenile resistance to diseases in *Aegilops tauschii* Coss. samples. *Cereal Research Communications*. 2006;34(2-3):1067-1072. DOI: 10.1556/CRC.34.2006.2-3.239

Tyryshkin L.G., Syukov V.V., Zaharov V.G., Zuev E.V., Gashimov M.E., Kolesova M.A. et al. Sources of effective resistance to fungal diseases in wheat and its relatives – search, creation and use in breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170:186-199. [in Russian] (Тырышкин Л.Г., Сюков В.В., Захаров В.Г., Зуев Е.В., Гашимов М.Э., Колесова М.А. и др. Источники эффективной устойчивости мягкой пшеницы и ее родичей к грибным болезням – поиск, создание и использование в селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170:186-199).

Urbanovich O.Yu., Malyshev S.V., Dolmatovich T.V., Kartel N.A. Identification of leaf rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using molecular markers. *Russian Journal of Genetics*. 2006;42(5):546-554. [in Russian] (Урбанович О.Ю., Малышев С.В., Долматович Т.В., Картель Н.А. Определение генов устойчивости к бурой ржавчине в сортах пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с использованием молекулярных маркеров. *Генетика*. 2006;42(5):675-683).

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

Тырышкин Л.Г., Колесова М.А. Использование молекулярно-генетического и фитопатологического методов для идентификации генов эффективной устойчивости к листовой ржавчине у образцов эгилопсов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):87-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-87-95

Tyryshkin L.G., Kolesova M.A. The use of molecular-genetic and phytopathological methods to identify genes for effective leaf rust resistance in *Aegilops* accessions. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):87-95. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-87-95

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/10.30901/2227-8834-2020-2-87-95

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Tyryshkin L.G. https://orcid.org/0000-0002-3502-549X
Kolesova M.A. https://orcid.org/0000-0001-6310-127X

Сорт ‘Биос 1’ как исходный материал для селекции ячменя

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100
УДК 631.527.8:633.16
Поступление/Received: 13.01.2020
Принято/Accepted: 28.02.2020

Н. А. ЖИЛИН [1]*, И. Ю. ЗАЙЦЕВА [2], И. Н. ЩЕННИКОВА [1, 2], С. А. ЕМЕЛЕВ [1]

[1] Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017 Россия, г. Киров, Октябрьский пр., 133

[2] Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а

** zhilin.nickolaj@gmail.com*

Effectiveness of the barley cultivar ‘Bios 1’ as source material for breeding

N. A. ZHILIN [1], I. YU. ZAYTSEVA [2], I. N. SHCHENNIKOVA [1, 2], S. A. EMELEV [1]

[1] Vyatka State Agricultural Academy, 133 Oktyabrsky Ave, Kirov 610017, Russia

[2] N.V. Rudnitsky Federal Agricultural Science Center of the North-East, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia

** zhilin.nickolaj@gmail.com*

Актуальность. Эффективность селекции во многом зависит от выбора метода селекции и подбора исходного материала. Методы гибридизации и мутагенеза в сочетании с отбором являются основными в создании перспективного селекционного материала и адаптивных сортов ярового ячменя. **Материал и методы.** Исследования проводили в 2002–2019 гг. Объектом исследований были созданные с участием сорта ‘Биос 1’ методом гибридизации 948 селекционных линий (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока, г. Киров) и 190 мутантных образцов, полученных в результате обработки семян ячменя сорта ‘Биос 1’ карбонатом натрия и лазерным и дальним красным светом в различных сочетаниях (Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров). Изучение проводили по общепринятым методикам. **Результаты и выводы.** В скрещивания с сортом ‘Биос 1’ включали коллекционные образцы и селекционные линии. Изучение линий проходило по полной схеме селекционного процесса. В результате только одна селекционная линия 52-15, в родословной которой присутствует сорт ‘Биос 1’, изучалась в конкурсном сортоиспытании в 2019 г. Полученные результаты свидетельствовали о низкой комбинационной способности сорта ‘Биос 1’ и неэффективности его дальнейшего использования при гибридизации в качестве родительской формы. В Вятской ГСХА при использовании сорта ‘Биос 1’ в качестве исходной формы было создано 190 мутантных форм ячменя. По результатам оценки в лабораторных опытах и конкурсном сортоиспытании было выделено пять мутантных форм ячменя. Для дальнейшей селекционной работы отобраны образцы, сочетающие высокую урожайность с рядом селекционно ценных признаков: селекционная линия 52-15 и мутантные формы М 4-16-3, М 9-5-3 и М 11-13 Ха. Новый образец М 8-3-013, созревающий на восемь дней раньше исходного сорта, характеризующийся длинным (8,9 см), хорошо озерненным (24,3 зерна), продуктивным (1,31 г) колосом, передается на государственное сортоиспытание.

Ключевые слова: гибридизация, мутагенез, карбонат натрия, лазерный красный свет, дальний красный свет, урожайность, вегетационный период.

Background. The efficiency of breeding depends largely on the breeding method and the choice of the source material. Hybridization and mutagenesis, combined with selection, are the basic techniques in the development of promising breeding materials and adaptable cultivars of spring barley. **Object and methods**. The research was implemented in 2002–2019. The material for the research were 948 breeding lines (Federal Agricultural Science Center of the North-East, Kirov) developed through hybridization with cv. ‘Bios 1’, and 190 mutant samples (Vyatka State Agricultural Academy, Kirov) obtained as a result of treating barley seeds with sodium carbonate and irradiation with laser and far-red light in various combinations. The study was conducted in accordance with approved standard techniques. **Results and conclusions**. Various collection accessions and breeding lines were involved in crosses with cv. ‘Bios 1’. The lines were studied according to the full-scale scheme of the breeding process. As a result, only one breeding line, 52-15, having ‘Bios 1’ in its pedigree, was approved for testing in the competitive variety trial in 2019. These results attested to a low combination capacity of cv. ‘Bios 1’ and to the inefficiency of its further use in hybridization as a parent form. In Vyatka State Agricultural Academy, 190 mutant forms of barley were produced using ‘Bios 1’ as the initial form. According to the results of laboratory experiments and competitive variety trials, 5 mutant forms of barley were identified as promising. Spring barley samples, combining high yield with a set of traits valuable for breeding, were selected for further breeding work: breeding line 52-15, and mutant forms M 4-16-3, M 9-5-3 and M 11-13 Kha. The new barley accession M 8-3-013, maturing 8 days earlier than the original cultivar, having a long (8.9 cm), well-grained (24.3 grains) and productive (1.31 g) ear, is submitted for the State Variety Trials.

Key words: hybridization, mutagenesis, sodium carbonate, laser red light, far-red light, yield, growing season.

Введение

Эффективность селекции во многом зависит от выбора метода селекции и подбора исходного материала. Большинство сортов ярового ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ, созданы с использованием метода гибридизации с последующим индивидуальным отбором. Родительские формы определяются на основе множества критериев в зависимости от поставленной цели селекционной работы (Repko et al., 2017). Академик Н. А. Сурин с соавторами (Surin et al., 2018) на основе учения Н. И. Вавилова и многолетнего личного опыта отмечают, что высокая урожайность селекционного материала, созданного с участием адаптивных сортов и селекционных линий, свидетельствует о том, что они эффективно используют биоклиматические ресурсы региона.

Методом мутагенеза индуцировано большое количество мутантов, ценных для селекционной практики (Khan et al., 2009; Krotova, 2015). Ценность мутантов в основном заключается в изменении одного-двух адаптационных признаков. Так, в ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко» сочетанием методов гибридизации и мутагенеза в результате постепенного «пирамидирования» генов, отвечающих за адаптационные признаки в одном генотипе, выведено 15 из 20 сортов ярового ячменя (Kuznetsova et al., 2015). В ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА» (Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров) за последние 15 лет на государственное сортоиспытание передано пять сортов, созданных методом индуцированного мутагенеза.

Сочетание в одном сорте высокой урожайности и скороспелости является залогом получения высоких урожаев зерновых культур в Волго-Вятском регионе. Проведенными ранее исследованиями (Dudin, Zhilin, 2014) было установлено, что красный свет и карбонат натрия являются мутагенными факторами на яровом ячмене. Были зарегистрированы наследственные изменения различного спектра, выделены мутантные формы, характеризующиеся ранним созреванием, превосходящие исходный сорт по озерненности колоса и массе 1000 зерен, представляющие интерес для скрининга селекционно ценных форм.

Цель исследования – оценить эффективность использования сорта ‘Биос 1’ в качестве компонента скрещиваний для гибридизации и исходной формы для индуцированного мутагенеза.

Материал, методы и условия

Исследования проводили в 2002–2019 гг. Объектом исследований были созданные с участием сорта ‘Биос 1’ селекционные линии (ФАНЦ Северо-Востока – Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока, г. Киров) и 190 мутантных образцов, полученных в результате обработки семян ячменя сорта ‘Биос 1’ карбонатом натрия и лазерным и дальним красным светом (Вятская ГСХА, г. Киров).

Для закладки опыта семена ячменя замачивали (12 часов) в дистиллированной воде и водных растворах карбоната натрия (Na_2CO_3) марки ЧДА в концентрациях 0,01 – 0,1 – 1 н.

В качестве источника лазерного красного света (ЛКС) использовали гелий-неоновый лазер (установка ОКГ-12-1) с длиной волны 632,8 нм. Режим облучения непрерывный, экспозиция 60 минут, плотность мощности луча 0,3 мВт/см^2. Дальний красный свет (ДКС) с длиной волны 754 ± 10 нм получали от электрической лампы накаливания через интерференционный светофильтр с применением осветителя ОИ-19. Плотность мощности излучения 0,3 мВт/см^2.

Схема опыта включала следующие варианты: 1 – Контроль (с.з. – семена, замоченные в дистиллированной воде); 2 – 0,01 н Na_2CO_3; 3 – 0,1 н Na_2CO_3; 4 – 1 н Na_2CO_3; 5 – с.з. + ЛКС; 6 – с.з. + ДКС; 7 – 0,1 н Na_2CO_3 + ЛКС; 8 – ЛКС + 0,1 н Na_2CO_3; 9 – 0,1 н Na_2CO_3 + ДКС; 10 – ДКС + 0,1 н Na_2CO_3; 11 – ЛКС + 0,1 н Na_2CO_3 + ДКС; 12 – ДКС + 0,1 н Na_2CO_3 + ЛКС.

Сорт ‘Биос 1’ создан в ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр» (ФИЦ) «Немчиновка» методом сельскохозяйственной биотехнологии. Разновидность – *nutans.* Среднеспелый. Колос средней длины и плотности. Устойчивость к пониканию повышенная, к ломкости – высокая. Зерно крупное. Масса 1000 зерен – 45–54 г. Устойчивость к полеганию и болезням высокая. Сорт интенсивного типа, включен в список ценных по качеству сортов. Включен в Госреестр РФ с 1993 года по 2, 3, 4 и 7 регионам РФ. В настоящее время сорт районирован только по 4 (Волго-Вятскому) региону.

Полевой опыт был заложен в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания (Golovachev, Kirilovskaya, 1985). Основную и предпосевную обработку почвы проводили в соответствии с зональными рекомендациями (Dyomshin et al., 2016; Kozlova et al., 2017). Посев селекционной сеялкой СКС-6-10. Площадь делянки – 7,5 м^2, повторность четырехкратная. Норма высева – 5 млн всхожих зерен на гектар. Уборку проводили комбайном «Сампо-130».

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались по температурному режиму и количеству осадков, что позволило всесторонне оценить селекционный материал.

Статистическая обработка данных проводилась методами дисперсионного анализа с помощью компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Сорт ‘Биос 1’ районирован в Волго-Вятском регионе с 1993 г. Высокая урожайность и устойчивость к полеганию способствовали широкому распространению сорта по хозяйствам Кировской области начиная с 1999 г. до 2005 г. ‘Биос 1’ занимал не менее 10–14% посевных площадей, занятых ячменем. Поэтому вполне логичным было его использование в качестве компонента скрещиваний.

С 2002 по 2005 г. в ФАНЦ Северо-Востока были проведены реципрокные скрещивания, где сорт ‘Биос 1’ использовался как в качестве материнской (20 комбинаций), так и отцовской формы (21); было получено 352 и 596 гибридных зерен соответственно. В скрещивания с сортом включали коллекционные образцы и селекционные линии. Изучение гибридов проходило по полной схеме селекционного процесса. В результате только одна селекционная линия 52-15, в родословной которой присутствует сорт ‘Биос 1’, изучалась в конкурсном сортоиспытании в 2019 г. Остальные линии были выбракованы на различных этапах селекционного процесса из-за низкой урожайности, неустойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам среды. Данные результаты свидетельствовали о низкой комбинационной спо-

собности сорта ‘Биос 1’ и неэффективности его дальнейшего использования при гибридизации в качестве родительской формы.

В Вятской ГСХА с 2009 по 2012 г. было выделено 190 мутантных форм, полученных из сорта ‘Биос 1’. По результатам оценки в полевых и лабораторных опытах для изучения в конкурсном сортоиспытании было выделено пять мутантов ячменя, представляющих интерес для дальнейшей селекционной работы.

Урожайность мутантных форм в конкурсном сортоиспытании изменялась от 2,09 (М 11-13 Ха) до 7,02 т/га (М 8-3-013). На рисунке видно, что мутанты М 4-16-3, М 2-37-6, М 9-5-3 по урожайности находятся на уровне стандарта, а образец М 11-13 Ха уступает по урожайности стандартному сорту, но они обладают ценным свойством – практически не реагируют на изменение внешней среды, обладая относительно узкой нормой реакции. Мутант М 8-3-013 превышает по урожайности стандарт, он имеет широкую норму реакции на внешние факторы среды, то есть его можно отнести к интенсивному типу.

Высокой урожайностью выделяется М 8-3-013, превысивший стандарт за годы изучения (исключение 2017 г.) на 0,17–0,42 т/га. Новый образец отличается от исходной формы и более высокой соломиной (на 8,7 см выше исходного сорта).

Преимущество по урожайности данной мутантной формы обеспечивается более длинным, хорошо озерненным, продуктивным колосом и сравнительно высокой массой 1000 зерен (таблица). К перспективным для использования в селекционных программах на увеличение

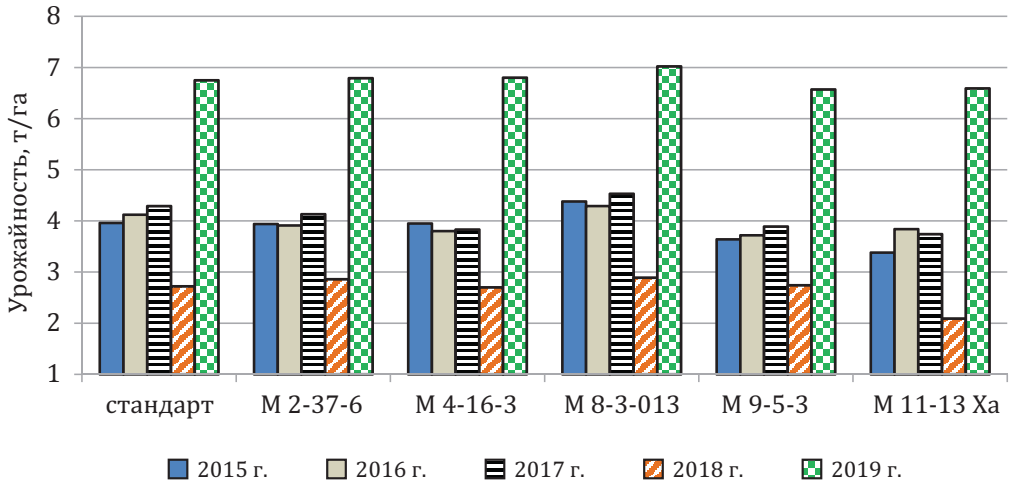


Рисунок. Влияние условий вегетации на урожайность мутантных форм ячменя (Киров, 2015–2019 гг.)
Figure. The effect of growth conditions on the yield of barley mutant forms (Kirov, 2015–2019)

Таблица. Урожайность и элементы ее структуры у мутантных форм ячменя (г. Киров, 2015–2019 гг.)
Table. The yield and its structural elements in barley mutant forms (Kirov, 2015–2019)

Сорт / Cultivar	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Общая кустистость, шт./раст. / Total tillering capacity, pcs/plant	Продуктивная кустистость, шт./раст. / Productive tillering capacity, pcs/plant	Высота растения, см / Plant height, cm	Длина колоса, см / Length of ear, cm	Кол-во колосков в колосе, шт. / Number of spikes in ear, pcs	Кол-во зерен в колосе / Number of grains in ear, pcs	Масса зерна с главного колоса, г / Grain weight per main ear, g	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g
Белгородский 100 (st.) стандарт	4,37	3,07	2,34	69,6	7,5	22,1	21,0	1,17	51,6
М 2-37-6	4,33	2,65	2,23	70,2	8,1	23,2	22,0	1,12	48,3
М 4-16-3	4,22	2,79	2,14	68,1	8,2*	23,9*	22,8*	1,24	48,1
М 8-3-013	4,52	2,78	2,47	72,4	8,9*	25,6*	24,3*	1,31*	49,2
М 9-5-3	4,11	3,02	2,40	64,2	8,0	22,5	21,4	1,24	54,6*
М 11-13 Ха	3,93	2,78	2,44	58,9	7,1	21,3	20,1	1,02	49,0

Примечание: st. – стандарт; * – существенно отличается от стандарта при $p < 0,05$
Note: st. – the reference (standard) cultivar; * – significantly different from the reference, at $p < 0.05$

параметров колоса также относится М 4-16-3. Масса 1000 зерен является одним из положительно коррелирующих с урожайностью признаков (Lepekhov, 2018). По данному показателю в опыте выделялся М 9-5-3, масса 1000 зерен у мутанта изменялась от 47,5 г (2017 г.) до 61,2 г (2015 г.) и в среднем составила 54,6 г, достоверно превысив стандарт.

Основными недостатками сорта 'Биос 1' при возделывании в Волго-Вятском регионе были продолжительный вегетационный период и плохая вымолачиваемость зерна в отдельные годы, что и привело к полному отказу от использования данного сорта в хозяйствах Кировской области.

В отличие от сорта 'Биос 1' мутанты характеризовались легко отделяющимися при обмолоте остями. Также все выделенные образцы отличались от исходной формы и стандарта более коротким вегетационным периодом. Скороспелый мутант М 11-13 Ха созревал на 11 дней раньше сорта 'Биос 1' и на 7 дней раньше стандарта 'Белгородский 100'; М 8-3-013 – на 8 и 5 дней раньше; М 2-37-6 и М 9-5-3 – на 6 и 3 дня соответственно. Продолжительность вегетационного периода мутанта М 4-16-3 была на уровне исходного сорта и на 3 дня короче, чем у стандарта 'Белгородский 100'.

Все выделенные образцы различались по методу создания (по применению и сочетанию мутантных факторов). Так, при замачивании семян в растворах Na_2CO_3 в течение 12 часов с концентрацией 1 н получен мутант М 4-16-3, с концентрацией 0,01 н – М 2-37-6. В комплексных вариантах: 0,1 н Na_2CO_3 + ДКС выделен М 9-5-3; ЛКС + 0,1 н Na_2CO_3 + ДКС – М 11-13; ЛКС + 0,1 н Na_2CO_3 – М 8-3-013. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования данных мутагенных факторов и их комбинаций для создания нового исходного материала для селекции ячменя.

Выводы

Таким образом, доказана эффективность использования сорта 'Биос 1' для создания нового исходного материала ячменя методом мутагенеза. Перспективными для дальнейшей селекционной работы являются селекционная линия 52-15 и мутантные формы М 4-16-3, М 9-5-3 и М 11-13 Ха. Новый образец М 8-3-013, характеризующийся скороспелостью, высокой урожайностью и рядом селекционно ценных признаков – выше среднего количество колосков и зерен в колосе, масса зерна с колоса выше средней, – передается на государственное сортоиспытание.

References/Литература

Dudin G.P., Zhilin N.A. Mutational variability of barley under the effect of sodium carbonate and red emission. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;12(122):44-49. [in Russian] (Дудин Г.П., Жилин Н.А. Мутационная изменчивость ячменя под влиянием карбоната натрия и излучения красного диапазона. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2014;12(122):44-49).

Dyomshin S.L. Equipment for tillage and sowing in the Euro-North-East of Russia (Tekhnika dlya obrabotki pochvy i poseva v usloviyakh Yevro-Severo-Vostoka Rossii). *Innovatsii v selskom khozyaystve = Innovations in Agriculture*. 2016;3(18):17-24. [in Russian] (Дёмшин С.Л. Техника для обработки почвы и посева в условиях Евро-Северо-Востока России. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016;3(18):17-24).

Golovachev V.I., Kirilovskaya E.V. (eds). Methodology for the State Variety Trials of Agricultural Crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur). Issue 2. Moscow; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2 / под ред. В.И. Головачева, Е.В. Кириловской. Москва; 1989).

Khan S., Al-Qurainy F., Anwar F. Sodium azide: a chemical mutagen for enhancement of agronomic traits of crop plants. *Environment and We: an International Journal of Science and Technology*. 2009;4:1-21.

Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N., Ivanov V.L. Improved resource-saving technology of soil cultivation and use in bio-preparations for spring cereals crops under conditions of central zone of North-East of European part of Russia. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;3(58):43-48. [in Russian] (Козлова Л.М., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., Иванов В.Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;3(58):43-48).

Krotova L.A. Chemical mutagenesis as a method of creating an initial material for breeding wheat. *Research and Scientific Electronic Journal of Omsk SAU*. 2015;2(2). [in Russian] (Кротова Л.А. Химический мутагенез как метод создания исходного материала для селекции мягкой пшеницы. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2015;2(2)). URL: http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2015/2/00034.pdf [дата обращения: 03.02.2020].

Kuznetsova T.E., Levshtanov S.A., Serkin N.V., Nesterenko V.V., Vertelnikova N.A., Ostanina T.V. Methods and results of spring barley breeding in Krasnodar Region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(12):20-22. [in Russian] (Кузнецова Т.Е., Левштанов С.А., Серкин Н.В., Нестеренко В.В., Вертельникова Н.А., Останина Т.В. Методы и результаты селекции ярового ячменя на Кубани. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(12):20-22).

Lepekhov S.B. Efficiency of selection in early generations of crop hybrids for high yield and yield components (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(4):177-190. [in Russian] (Лепехов С.Б. Эффективность отбора в ранних поколениях гибридов сельскохозяйственных культур по урожайности и признакам продуктивности (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(4):177-190). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-4-177-190

Repko N.V., Repko V.V., Skibina Yu.S., Shepelev K.V. Selection of parental pairs for the hybridization of winter barley. *Science Almanac*. 2017;9-2(35):205-209. [in Russian] (Репко Н.В., Репко В.В., Скибина Ю.С., Шепелев К.В. Подбор родительских пар для гибридизации озимого ячменя. *Научный альманах*. 2017;9-2(35):205-209). DOI: 10.17117/na.2017.09.02.205

Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Realization of N.I. Vavilov's ideas in the barley breeding in Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(1):78-88. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Реализация идей Н. И. Вавилова в селекции ячменя в Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(1):78-88). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-78-88

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

Жилин Н.А., Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Емелев С.А. Сорт 'Биос 1' как исходный материал для селекции ячменя. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2): 96-100. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100

Zhilin N.A., Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Emelev S.A. Effectiveness of the barley cultivar 'Bios 1' as source material for breeding. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):96-100. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100

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/10.30901/2227-8834-2020-2-96-100

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Zhilin N.A. https://orcid.org/0000-0002-6827-5102
Zaytseva I.Yu. https://orcid.org/0000-0002-1228-2151
Shchennikova I.N. https://orcid.org/0000-0002-5143-9246
Emelev S.A. https://orcid.org/0000-0003-4178-051X

Компоненты продуктивности новых сортов и селекционных форм груши на Среднем Урале

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-101-107
УДК 634.13 (470.54-25)
Поступление/Received: 12.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

Г. Н. ТАРАСОВА

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, 620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112, корп. А
tarasova-g@list.ru

Yield components in new pear cultivars and breeding forms in the Middle Urals

G. N. TARASOVA

Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A Belinskogo Street, Yekaterinburg 620142, Russia
tarasova-g@list.ru

Свердловская селекционная станция садоводства специализируется на создании сортов плодовых и ягодных культур для Среднего Урала. Одно из направлений ее работы – селекция груши на высокую зимостойкость, урожайность, хорошее качество плодов.
Объект изучения – 10 новых сортов и селекционных форм груши селекции Свердловской селекционной станции садоводства с контрольными сортами 'Талица' летнего срока созревания и 'Береженая' позднеосеннего срока созревания. Период наблюдений – 2009–2019 гг.
Установлено, что сорта 'Летняя золотистая', 'Чусовая', 'Береженая' (к), 'Султан' и селекционная форма ДЛ-33-307 характеризуются устойчивостью цветков к поздневесенним заморозкам.
Скороплодные сорта – 'Летняя золотистая', 'Береженая' (к), 'Султан'. Сорта со средним сроком начала плодоношения – 'Талица' (к), 'Чусовая' и селекционные формы ЗС-IV-5-11, ДЛ-33-307, ДЛ-II-31н-207, ЗС-II-15-18, ЗС-IV-5-19; с поздним сроком начала плодоношения – селекционная форма ЗС-IV-15-38.
Раннее вступление в полное плодоношение в возрасте 10-11 лет и более высокая урожайность в этом возрасте наблюдались у сортов 'Береженая' (к), 'Султан', 'Летняя золотистая' и у селекционной формы ЗС-II-15-18.
По сочетанию хозяйственно ценных признаков выделились новые сорта 'Летняя золотистая' и 'Султан', скороплодные, урожайные, с хорошими темпами наращивания урожая в молодом возрасте. Сорт 'Летняя золотистая' – с привлекательными плодами хорошего вкуса массой 76 г летнего срока созревания. Сорт 'Султан' – с привлекательными плодами хорошего вкуса массой 129 г зимнего срока созревания. Сорт 'Чусовая' выделился привлекательными плодами очень хорошего вкуса.

Ключевые слова *Pyrus ussuriensis*, плодовая культура, селекция, сортоизучение, зимостойкость, урожайность, качество плодов.

Sverdlovsk Horticultural Breeding Station specializes in the development of fruit and berry cultivars for the Middle Urals. One of its tasks is pear breeding for high winter-hardiness, high yield, and good fruit quality.
Ten new pear cultivars and improved forms of local breeding were selected as the material for this study versus the reference cultivars 'Talitsa', ripening in summer, and 'Berezhenaya', ripening in late autumn. Observations were conducted across the decade of 2009–2019.
The cultivars 'Letnyaya zolotistaya', 'Chusovaya', 'Berezhenaya' (ref.), 'Sultan', and breeding form DL-33-307 were found to possess resistance of flowers to late spring frosts.
Cvs. 'Letnyaya zolotistaya', 'Berezhenaya' (ref.) and 'Sultan' were early-fruiting; cvs. 'Talitsa' (ref.) and 'Chusovaya', breeding forms ZS-IV-5-11, DL-33-307, DL-II-31n-207, ZS-II-15-18 and ZS-IV-5-19 were mid-fruiting; breeding form ZS-IV-15-38, late-fruiting.
An early onset of full fructification at the age of 10–11 years or more, combined with high yield at the same age, was observed in cvs. 'Berezhenaya' (ref.), 'Sultan', 'Letnyaya zolotistaya', and breeding form ZS-II-15-18.
New cultivars 'Letnyaya zolotistaya' and 'Sultan' were highlighted for a combination of valuable traits: earliness, high yield, and high growth rates in the plantlet stage.
Cv. 'Letnyaya zolotistaya' had attractive good-tasting fruits, weighing 76 g, ripening in summer. Cv. 'Sultan' yielded nice-looking and good-tasting fruits, weighing 129 g, ripening in winter. Cv. 'Chusovaya' was identified for its nice-looking fruits with a very good taste.

Key words: *Pyrus ussuriensis*, fruit-bearing crop, breeding, variety studies, winter-hardiness. yield and quality of fruits.

Введение

Для Среднего Урала, характеризующегося неблагоприятными для садоводства климатическими условиями, необходим особый высокоадаптированный сортимент плодовых культур. Основными лимитирующими факторами являются повреждающие зимние температуры ниже –30°С с абсолютным температурным минимумом –44°С; короткий вегетационный период с продолжительностью от 109 до 119 дней; низкая сумма активных температур 1600–1800°С (Agroclimatic conditions..., 1978). Единственным научным учреждением, специализирующимся на создании сортимента для плодоводства региона, является Свердловская селекционная станция садоводства. Одно из направлений ее работы – селекция груши.

Гибридный фонд груши, используемый на Среднем Урале, как и в других северных регионах, представлен преимущественно потомством дикой уссурийской груши

(*Pyrus ussuriensis* Maxim.), что обеспечивает достаточный потенциал зимостойкости получаемого генофонда. Поэтому очередным важнейшим этапом работы по расширению сортимента является выделение селекционных форм, которые, наряду со способностью к успешной перезимовке, характеризуются высокой урожайностью и хорошим качеством плодов.

Материалы и методы

Место проведения работы – Свердловская селекционная станция садоводства (Свердловская ССС), структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», на уникальной научной установке коллекции живых растений открытого грунта «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» (г. Екатеринбург).

Объект изучения – три сорта (‘Летняя золотистая’, ‘Чусовая’, ‘Султан’) и 7 селекционных форм груши селекции Свердловской ССС (табл. 1).

В качестве контроля для сортов и селекционных форм летнего (раннего) срока созревания рассматривался районированный сорт ‘Талица’, высокозимостойкий, урожайный, с плодами хорошего вкуса. В качестве контроля для сортов и селекционных форм осеннего и зимнего (позднего) сроков созревания был выбран районированный сорт ‘Береженая’, зимостойкий, высокоурожайный, с плодами хорошего вкуса, отличающийся хорошей, до 75 дней, лежкостью плодов (Sedov, 2007). Районированного сорта груши с плодами зимнего срока созревания, пригодного для климатических условий Среднего Урала, пока нет.

В 2009 г. высажено 10 растений каждого сорта и селекционной формы по схеме 6,0 × 2,5 м. Подвой – сеянцы груши уссурийской. Исследования проводили в 2009–2019 гг. по общепринятой методике (Sedov, Ogoltsova, 1999).

По срокам вступления в плодоношение сорта груши делятся на скороплодные (в возрасте 5–6 лет); со средним сроком вступления в плодоношение (в возрасте 7–9 лет); с поздним сроком вступления в плодоношение (позже 9 лет). Временем вступления в плодоношение считали возраст, в котором заплодоносили не менее 50% учетных растений сорта со средней урожайностью 2 кг/дер. (Sedov, Ogoltsova, 1999); в полное плодоношение – возраст достижения средней урожайности от 15 кг/дер. (Dospekhov, 1985). Согласно проведенным ранее исследованиям, сорта груши, созданные на Урале, в условиях Екатеринбурга вступали в полное плодоношение в возрасте 12–13 лет (Tarasova, 2012). Для определения изменчивости характеристик плодов использовался коэффициент вариации V – стандартное отклонение, выраженное в процентах к средней арифметической данной совокупности. Изменчивость принято считать незначительной при V меньше 10%; средней при V равной 10–20%; значительной при V больше 20% (Dospekhov, 1985).

За период исследования температура воздуха в зимний период практически ежегодно, исключая 2013 и 2018 г., опускалась ниже –30°С, с минимумом –36°С в январе 2014 г. Сумма активных температур – в пределах 1849,5–2315,5°С. Сочетание погодных условий вегетационного периода ряда лет самым неблагоприятным образом сказалось на продуктивности груши, что препятствовало раскрытию потенциала сортов и селекционных форм. Низкая урожайность 2014 г. была обусловлена слабой закладкой генеративных почек из-за засухи

Таблица 1. Сорта и селекционные формы груши (Свердловская ССС, Екатеринбург)
Table 1. Cultivars and breeding forms of pear (Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, Yekaterinburg)

Сорт / селекционная форма	Срок созревания плодов			Генетическое происхождение
	летний	осенний	зимний	
Талица (контроль)	+			Береженая х Ранняя млиевская
Летняя золотистая	+			Вестница × Космическая
ДЛ-33-307	+			Невеличка × Жанна д’Арк
ЗС-IV-5-11	+			Тема × Крымская зимняя
ЗС-IV-15-38	+			неизвестно
ДЛ-II-31н-207	+			Тема × Надежда степи
Чусовая	+			Бета × смесь пыльцы Виктория и Вильямс Руж
Береженая (контроль)		+		Бере желтая, искусственный мутагенез
ЗС-IV-5-19		+		Тема × Крымская зимняя
ЗС-II-15-18		+		Россошанская десертная × Л-III-10-15
88-7-107		+		Россошанская десертная, свободное опыление
Султан			+	Россошанская десертная, свободное опыление

в июне – июле 2013 г.: месячная сумма осадков 44,5 и 50,3 мм соответственно. В 2016–2019 гг. наблюдались неблагоприятные погодные условия в период цветения груши. В 2016 г. были отмечены поздневесенние заморозки с понижением температуры до –4,8°С; в 2017 г. зафиксирована критическая для цветков груши минимальная температура воздуха –6,0°С (Tarasova, 2019). В 2018 и 2019 г. дождливая и холодная погода с температурным минимумом –1,0°С обусловила низкую активность насекомых-опылителей, что, естественно, пагубно отразилось на продуктивности растений.

Результаты и обсуждение

Несмотря на достаточно суровые условия перезимовки, деревья всех исследуемых сортообразцов находятся в хорошем состоянии (с оценкой 4,0–5,0 баллов).

На рисунке 1 представлены результаты оценки степени повреждения цветков поздневесенними заморозками 2016 г.

Хорошая устойчивость цветков к понижению температуры до –4,8°С была отмечена у сортов ‘Летняя золотистая’, ‘Чусовая’, ‘Береженая’ (к), ‘Султан’, у селекционной формы ДЛ-33-307 (очень слабое и слабое повреждение). Средняя – у ЗС-IV-5-11, ЗС-IV-15-38, ЗС-IV-5-19 (среднее повреждение); слабая – у остальных образцов, в том числе у контрольного сорта ‘Талица’.

На рисунках 2 и 3 представлены данные по урожайности за период наблюдений.

Из-за неблагоприятных погодных условий у всех изучаемых сортов и селекционных форм не наблюдалось стабильной положительной динамики плодоношения. Самое заметное снижение урожайности было отмечено в 2014 г. (возраст 6 лет), 2017 г. (9 лет) и 2019 г. (11 лет).

По срокам вступления в плодоношение сорта и селекционные формы делятся на группы:

- скороплодные (ранний – ‘Летняя золотистая’, поздние – ‘Береженая’ (к) и ‘Султан’);
- со средним сроком вступления в плодоношение (ранние – ‘Талица’ (к), ЗС-IV-5-11, ДЛ-33-307, ДЛ-II-31н-207, ‘Чусовая’, поздние – ЗС-II-15-18, ЗС-IV-5-19);
- с поздним сроком вступления в плодоношение (ранний – ЗС-IV-15-38).

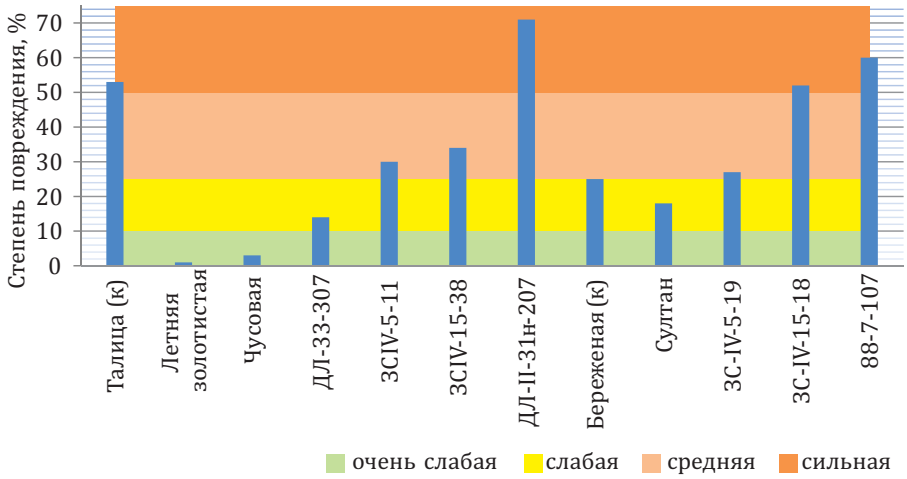


Рис. 1. Степень повреждения сортов и селекционных форм груши поздневесенними заморозками до –4,8°С, 2016 г. (Екатеринбург)

Fig. 1. Degree of damage inflicted on pear cultivars and breeding forms by late spring frosts down to –4,8°C in 2016 (Yekaterinburg)

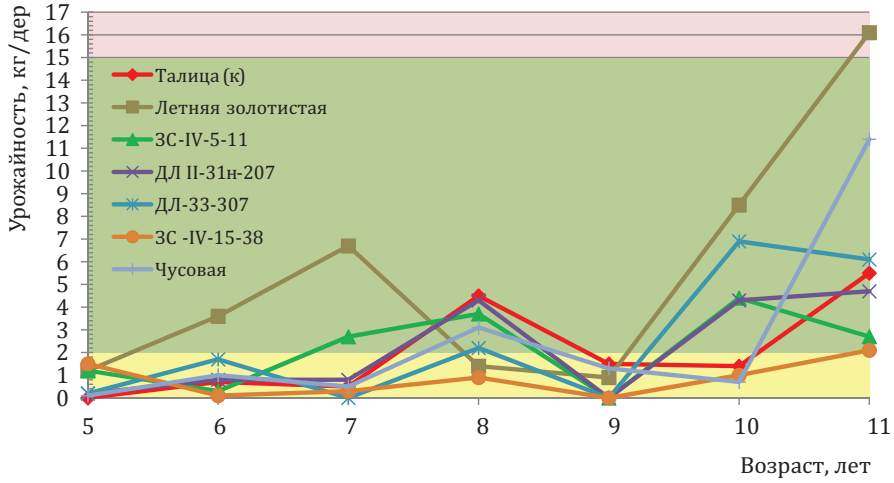


Рис. 2. Урожайность сортов и селекционных форм груши раннего срока созревания (Екатеринбург, 2013–2019 гг.)

Fig. 2. The yield of early-ripening pear cultivars and breeding forms (Yekaterinburg, 2013–2019)

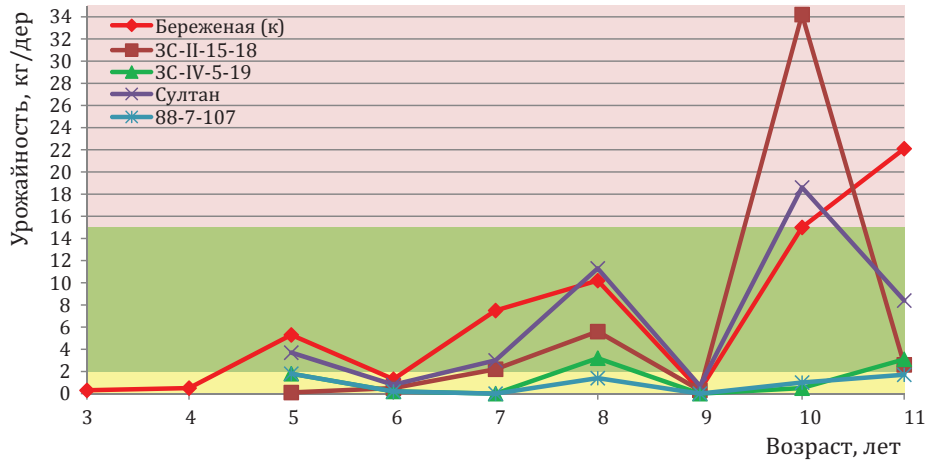


Рис. 3. Урожайность сортов и селекционных форм груши позднего срока созревания (Екатеринбург. 2011–2019 гг.)

Fig. 3. The yield of late-ripening pear cultivars and breeding forms (Yekaterinburg, 2011–2019)

Раннее вступление в полное плодоношение наблюдали у сортов позднего срока созревания ‘Береженая’ (к), ‘Султан’ и селекционной формы ЗС-II-15-18 в возрасте 10 лет; у сорта ‘Летняя золотистая’ – в возрасте 11 лет.

В восьмилетнем возрасте среди сортов и селекционных форм раннего срока созревания выделился сорт ‘Летняя золотистая’ с суммарной урожайностью (табл. 2) 12,9 кг/дер.; показатели остальных в группе, включая сорт ‘Талица’ (к), были довольно низкими: 2,8–7,9 кг/дер.

К 11-летнему возрасту по суммарной урожайности среди летних сортов также лидировал сорт ‘Летняя золотистая’ (38,4 кг/дер.). Образец ДЛ-33-307 и сорт ‘Чусовая’ достигли средних по группе показателей, несколько превзойдя контрольный сорт (17,1–18,1 кг/дер).

Таблица 2. Урожайность сортов и селекционных форм груши (Екатеринбург, 2009–2019 гг.)

Table 2. Yield of pear cultivars and breeding forms (Yekaterinburg, 2009–2019)

Сорт / селекционная форма	Сумма, кг/дер.		Средняя урожайность, 2018 и 2019 г., ц/га
	за 8 лет	за 11 лет	
раннего срока созревания			
Талица (к)	5,7	14,1	22,9
Летняя золотистая	12,9	38,4	82,0
ДЛ-33-307	4,1	17,1	43,1
Чусовая	4,7	18,1	40,3
ДЛ-II-31н-207	6,1	15,1	29,8
ЗС-IV-5-11	7,9	15,0	23,6
ЗС-IV-15-38	2,8	5,9	10,1
Среднее	6,3	17,7	
$НСР_{0,5}$			20,6
позднего срока созревания			
Береженая (к)	25,1	62,5	123,5
ЗС-II-15-18	8,4	45,5	122,5
Султан	18,8	46,5	89,8
ЗС-IV-5-19	5,2	8,8	11,9
88-7-107	3,4	6,1	9,1
Среднее	12,2	33,9	
$НСР_{0,5}$			38,6

В группе поздних сортов по суммарной урожайности в восьмилетнем возрасте выделились сорта ‘Береженая’ (к) и ‘Султан’ (25,1 кг/дер. и 18,8 кг/дер. соответственно); к 11-ти годам – те же два сорта и селекционная форма ЗС-II-15-18 (45,5–62,5 кг/дер.).

По средним показателям урожайности за два года среди сортов и селекционных форм раннего срока созревания статистически значимо выделился сорт ‘Летняя золотистая’ (82,0 ц/га). Среди сортов и селекционных форм позднего срока созревания на уровне высокоурожайного сорта ‘Береженая’ (к) – ЗС-II-15-18 и ‘Султан’ (89,8–122,5 ц/га).

Характеристики плодов изучаемых сортов и селекционных форм, полученные на основании многолетних наблюдений, представлены в таблице 3.

По массе плодов их можно разделить на группы:

• с мелкими плодами: ‘Талица’ (к), ‘Чусовая’, ДЛ-33-307 (53–70 г);

• с плодами ниже средней величины: ЗС-IV-15-38, ДЛ-II-31н-207, ‘Летняя золотистая’, ‘Береженая’ (к), 88-7-107, ЗС-IV-5-19 (74–103 г);

• с плодами средней величины: ЗС-IV-5-11, ‘Султан’, ЗС-II-15-18 (119–129 г).

Значительное варьирование показателя «масса плода» – у сортов ‘Летняя золотистая’, ‘Береженая’ (к) и селекционных форм ДЛ-33-307, 88-7-107 (коэффициент вариации 29–33,4%); слабое – у сорта ‘Чусовая’ (V = 8,2%); среднее – у остальных (V = 10,2–18,8%).

Оценка вкуса плодов всех изучаемых сортов и селекционных форм – 3,8–4,3 балла с коэффициентом вариации 1,0–5,1%, что свидетельствует о стабильности признака.

Более привлекательные плоды с оценкой 4,0–4,5 балла – у ранних сортов и селекционных форм ‘Летняя золотистая’, ЗС-IV-5-11, ДЛ-II-31н-207, ЗС-IV-15-38, ‘Чусовая’; у поздних – ЗС-II-15-18, ‘Султан’.

Привлекательные плоды с оценкой вкуса не менее 4,0 баллов – у сортов ‘Летняя золотистая’, ‘Чусовая’ (рис. 4), ‘Султан’ (рис. 5).

Лежкость плодов всех сортов и селекционных форм летнего срока созревания не превышает 10–15 дней. Сорт позднего срока созревания ‘Султан’ по продолжительности хранения плодов превосходит контрольный сорт ‘Береженая’ (90 и 60 дней соответственно). Лежкость плодов остальных сортов и селекционных форм этой группы – 20–30 дней.



Рис. 4. Плоды сорта ‘Чусовая’ селекции Свердловской ССС (фото Д. Д. Тележинского)

Fig. 4. Fruits of cv. ‘Chusovaya’ released by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station (photo: D. D. Telezhinskiy)



Рис. 5. Плоды сорта ‘Султан’ селекции Свердловской ССС (фото Д. Д. Тележинского)

Fig. 5. Fruits of cv. ‘Sultan’ released by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station (photo: D. D. Telezhinskiy)

Таблица 3. Качество плодов сортов и селекционных форм груши (Екатеринбург, 2013–2019 гг.)
Table 3. Fruit quality of pear cultivars and breeding forms (Yekaterinburg, 2013–2019)

Сорт / селекционная форма	Масса плодов, г		Оценка вкуса, балл		Привлекательность, балл	Лежкость, дней
	средняя	V, %	средняя	V, %		
раннего срока созревания						
Талица (контроль)	53	11,1	4,0	2,7	3,5	10
ЗС-IV-5-11	119	17,7	3,9	2,1	4,5	10
ЗС-IV-15-38	103	18,4	3,8	5,1	4,1	15
ДЛ II-31н-207	98	13,9	3,9	1,6	4,0	10
Летняя золотистая	76	33,4	4,0	1,9	4,2	10
Чусовая	70	8,2	4,3	2,3	4,0	15
ДЛ-33-307	68	31,8	4,0	1,0	3,9	10
позднего срока созревания						
Береженая (контроль)	74	29,0	3,9	1,4	3,8	60
Султан	129	10,3	4,0	1,9	4,5	90
ЗС-II-15-18	128	12,1	3,8	3,6	4,5	30
88-7-107	83	29,5	4,3	2,6	3,7	20
ЗС-IV-5-19	79	18,8	4,0	2,2	3,7	20

Выводы

Установлено, что сорта ‘Летняя золотистая’, ‘Чусовая’, ‘Береженая’ (к), ‘Султан’ и селекционная форма ДЛ-33-307 характеризуются устойчивостью цветков к поздневесенним заморозкам до –4,8°С.

По сочетанию хозяйственно ценных признаков выделились сорта ‘Летняя золотистая’ и ‘Султан’ – скороплодные, урожайные, с хорошими темпами наращивания урожая в молодом возрасте. Сорт ‘Летняя золотистая’ – с привлекательными плодами хорошего вкуса массой 76 г летнего срока созревания. Сорт ‘Султан’ – с привлекательными плодами хорошего вкуса массой 129 г зимнего срока созревания.

Сорт ‘Чусовая’ отличается привлекательными плодами очень хорошего вкуса.

Исследования выполнены в рамках направления 148 Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. по теме «Сохранение, пополнение, изучение генетических коллекций и выделение новых доноров и генетических источников хозяйственно-полезных признаков плодово-ягодных, зерновых, зернобобовых, кормовых культур и картофеля» № 0773-2019-0023.

The research was performed within the framework of Direction 148 of the Federal Research under the State Academies of Sciences for 2013–2020 entitled “Conservation, Replenishment and Studying of Genetic Collections and Identification of New Donors and Genetic Sources of Economically Useful Traits in Fruit, Berry, Cereal, Grain Legume and Fodder Crops, and Potato”, No. 0773-2019-0023.

References/Литература

Agroclimatic conditions of Sverdlovsk Province (Agroklimaticheskiye usloviya Sverdlovskoy oblasti). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1978. [in Russian]. (Агроклиматические условия Свердловской области, Ленинград: Гидрометеоиздат; 1978).

Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).

Sedov E.N. (ed.). Pomology. Vol. II. Pear. Quince (Pomologiya. Tom II. Grusha. Ayva). Orel: VNIISPK; 2007. [in Russian] (Помология. Том II. Груша. Айва / под ред. Е. Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 2007).

Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methods of variety research for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPK; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).

Tarasova G.N. Resistance of Ural pear varieties to late spring frosts. *Contemporary Horticulture*. 2019;(2):35-39. [in Russian] (Тарасова Г.Н. Устойчивость уральских сортов груши к поздневесенним заморозкам. *Современное садоводство.* 2019;(2):35-39). DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10206

Tarasova G.N. Yield dynamics of pear varieties of the Ural breeding. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia.* 2012;29(2):183-189. [in Russian]. (Тарасова Г.Н. Динамика урожайности сортов груши уральской селекции. *Плодоводство и ягодоводство России.* 2012;29(2):183-189).

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

Тарасова Г.Н. Компоненты продуктивности новых сортов и селекционных форм груши на Среднем Урале. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):101-107. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-101-107

Tarasova G. N. Yield components in new pear cultivars and breeding forms in the Middle Urals. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):101-107. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-101-107

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/10.30901/2227-8834-2020-2-101-107

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 / Author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Tarasova G.N. https://orcid.org/0000-0003-3563-6917

Application of internal transcribed spacer (ITS) sequences for identifying *Anoectochilus setaceus* Blume in Thanh Hoa, Vietnam

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-108-116
УДК 582.52:575:581.9
Поступление/Received: 11.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

B. B. THINH [1]*, L. D. CHAC [2], L. T. M. THU [3]

[1] *School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia*

[2] *Faculty of Natural Sciences, Hong Duc University, 565 Quang Trung Street, Thanh Hoa 40130, Vietnam*

[3] *Faculty of Natural Sciences and Technology, Tay Bac University, Quyet Tam Dist., Son La 34114, Vietnam*

* *buibaothinh9595@gmail.com*

Применение последовательностей внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS) для идентификации образцов *Anoectochilus setaceus* Blume в Тханьхоа (Вьетнам)

Б. Б. ТХИНЬ [1]*, Л. Д. ЧАК [2], Л. Т. М. ТХУ [3]

[1] *Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет, 690922 Россия, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10*

[2] *Факультет естественных наук, Университет Хонгдык, 565 ул. Куанг Чунг, г. Тханьхоа 40130, Вьетнам*

[3] *Факультет естественных наук и технологий, Университет Тайбак, р-н Куиэт Там, г. Шонла 34114, Вьетнам*

* *buibaothinh9595@gmail.com*

Background. The term "DNA barcode" is used extensively in molecular taxonomy. Basically, this technique is based on the use of a DNA sequence (about 400–800 bp) as a standard to identify and determine the species relation of organisms quickly and accurately. Therefore, DNA barcodes not only help taxonomists in classifying and identifying species, but also improve their ability to control, understand and utilize biodiversity. In this study, the authors conducted identification of samples of *Anoectochilus setaceus* Blume collected in Thanh Hoa through the isolated sequence of ITS gene regions. **Materials and methods.** Total DNA was extracted from young leaves of *A. setaceus* samples using CTAB method. The ITS gene segment was amplified by PCR and sequenced. This genetic sequence was analyzed, compared and used to establish a phylogenetic tree using BioEdit, BLAST and DNASTAR programs. **Results and conclusion.** We isolated 4 sequences of the ITS gene region in 4 *A. setaceus* samples collected at Xuan Lien and Pu Luong of Thanh Hoa province; the ITS gene region was 667 nucleotide long. The findings identified the samples as the same species and showed 99% similarity to the ITS gene sequence of *A. roxburghii* (Wall.) Lindl. published in GenBank, GQ328774. This study also demonstrates that the method employing internal transcribed spacer (ITS) sequences is an effective tool to identify *A. setaceus* taxa.

Key words: molecular taxonomy, DNA barcoding, ITS primers, identification of samples.

Актуальность. Термин «DNA barcode» широко используется в молекулярной таксономии. По существу, этот метод основан на использовании последовательности ДНК (около 400–800 пн) в качестве стандарта для быстрой и точной идентификации и определения видовых отношений организмов. Таким образом, ДНК-штрихкоды помогают систематикам не только классифицировать и идентифицировать виды, но и контролировать, понимать и использовать биоразнообразие. В настоящем исследовании авторы провели идентификацию образцов *Anoectochilus setaceus* Blume, собранных в провинции Тханьхоа, на основе анализа последовательностей ITS. **Материалы и методы.** Тотальную ДНК выделяли из молодых листьев образцов *A. setaceus* с использованием бромида цетилтриметиламмония (CTAB-метод). Сегмент гена ITS амплифицировали методом ПЦР и секвенировали. Эту генетическую последовательность анализировали, сравнивали и использовали для построения «филогенетического древа» с помощью программ BioEdit, BLAST, DNASTAR. **Результаты и выводы.** Нами выделены 4 последовательности генной области ITS из 4 образцов *A. setaceus*, собранных в Сюань Лиен и Пу Луонг провинции Тханьхоа; изученный ITS-регион имел длину 667 нуклеотидов. Полученные данные идентифицировали образцы как один и тот же вид и показали 99-процентное сходство с последовательностью ITS *A. roxburghii* (Wall.) Lindl., опубликованной в базе данных GenBank (GQ328774). Исследование также демонстрирует, что использование внутреннего транскрибируемого спейсера (ITS) является эффективным методом для идентификации образцов *A. setaceus*.

Ключевые слова: молекулярная таксономия, баркодирование ДНК, праймеры ITS, идентификация образцов.

Introduction

In medical terms, *Anoectochilus setaceus* Blume is a powerful medicinal orchid which has functions beneficial for human health, i.e., improving blood circulation, producing antibacterial, anti-tracheitis, anti-hepatitis, and anti-neurasthenia effects (Lin et al., 1993; Lin et al., 2000; Wang et al., 2002; Ye et al., 2017). In particular, some active substances in *A. setaceus* are able to stop the growth of cancer cells. The chemical constituents of *A. setaceus* include quercetin, isoharmnetin-3-O-beta-D-glucopyranosid, kaempferol-3-O-beta-D-glucopyranosid, 5-hydroxy-3'-4'-7'-trimethoxyflavonol-3-O-beta-D-rutinosid and isorhamnetin-3-O-beta-D-rutinosid, etc. (He et al., 2006; Ye et al., 2017; Chac et al., 2019). Because of its

medicinal values, *A. setaceus* is popular in the market and sold at a high price. The small population of plants which scatters in a few highland forests, and illegal exploitation have made *A. setaceus* listed in the Vietnam Red Data Book (Vietnam Academy of Science and Technology, 2007). As a result, all exploitation and use of *A. setaceus* for illegal commercial purposes are banned in Vietnam.

The internal transcribed spacer (ITS) regions are localized between nuclear genes coding for 18S, 5.8S and 26S rRNA (Kress et al., 2005). Among the gene units are ITS1 and ITS2 segments, which form a basic gene group. Such gene groups replicate continuously in thousands of copies in the nucleus genes while being separated by the nontranscribed spacer region. In plant classification studies at the species level, ITS region is the most commonly decoded locus (Gigliano, 1999; Li D.Z. et al., 2011; Takamiya et al., 2011; Tripathi et al., 2013). The ITS region has been shown to be highly effective in classification of plants and fungi (except for ferns). This is a locus used for short DNA sequencing (Stoeckle, 2003; Chen, Shiau, 2015). It was demonstrated in most studies that the ITS region had a wide diversity (about 13.6% among closely related species) at the species level (Li M. et al., 2011; Techen et al., 2014; Lv et al., 2015; Hu et al., 2019). One of the advantages of the ITS region is that it can replicate two smaller segments (ITS1 and ITS2) on both sides with the 5.8S locus, which is useful in case of replicating damaged samples. It was also pointed out that the ITS region had low levels of variation within the species (Baldwin et al., 1995; Yang et al., 2012; Wang et al., 2020). That more than 100 thousand ITS sequences (until June 2016) have been published and the new figures continue to be added to the GenBank database is now a valuable source for studies on species.

A. setaceus in Vietnam is in danger of extinction because of its small and sparse population mainly in the forests as well as its overexploitation by humans. Moreover, the regeneration ability of this species is very low in the wild, especially where the ecological environment is devastated. As a result, the conservation and development of this species is a key and necessary issue. Thus, it is important to isolate and read ITS genome sequences and *A. setaceus* genotypes to provide important scientific data for the conservation, development and appropriate exploitation of this rare and precious medicinal herb.

Materials and methods

Plant materials

From March 2018 to May 2018, a total of 4 *Anoectochilus setaceus* samples were collected from Xuan Lien National Park and Pu Luong Nature Reserve in Thanh Hoa Province, Vietnam. Specifically, two samples (XL1 and XL2) were collected in Xuan Lien National Park and the other two (PL1 and PL2) were collected in Pu Luong Nature Reserve. Samples of young leaves were collected, stored in paper bags with silica gel, then moved to the laboratory and kept in a freezer at a temperature of –20°C for DNA extraction. Species identification of collected samples was performed by Associate Professor Tran Minh Hoi (Institute of Ecology and Biological Resources, Vietnam Academy of Science and Technology) on the basis of morphological characteristics. In addition, 1 ITS sequence of *A. roxburghii* (Wall.) Lindl. (GQ328774) and 1 ITS sequence of *A. lanceolatus* Lindl. (KT344108) were downloaded from the GenBank database.

Total DNA extraction

Total DNA was extracted from the young leaves of *A. setaceus* samples using CTAB method (Doyle, Doyle, 1987) with some improvement.

Step 1: Put 200 mg of young leaves in liquid nitrogen (–196°C) to grind into a fine powder. Add 6 ml wash buffer (Tris – HCl 100mM, pH = 8.0; EDTA 5 mM, pH = 8.0; NaH_2PO_4 0.4%; sorbitol 350 mM; water). Transfer to 1.5 ml Eppendorf tube. Centrifuge the sample for 15 minutes, at a speed of 12000 rounds per minute at 4°C, remove the fluid, and collect the sediment.

Step 2: Add 500 µl of extraction buffer to each tube (components of the buffer: Tris – HCl 100 mM, pH = 8.0; EDTA 20 mM, pH = 8.0; CTAB 4%; NaCl 1.4 M; water), mix gently, incubate at 65°C for 30 minutes (gently stir every 15 minutes). After finishing the incubation, leave the sample under room temperature for 5 minutes.

Step 3: Centrifuge for 15 minutes, at a speed of 12 000 rounds per minute at 4°C. Transfer the aqueous upper phase to a new 1.5 ml Eppendorf tube.

Step 4: Add 500 µl of C : I (24 chloroform : 1 isoamyl) to remove protein and impurities, stir for 15 minutes. Centrifuge for 15 minutes, at a speed of 12000 rounds per minute at 4°C. Carefully suck 500 µl of clear liquid in the upper phase and transfer to a new 1.5 pl Eppendorf tube (remove precipitate). Repeat this step twice.

Step 5: Add 500 µl of isopropanol, mix gently, precipitate the DNA at –20°C overnight. Then centrifuge for 15 minutes, at a rate of 12000 rounds per minute at 4°C, collect the precipitate.

Step 6: Add 500 µl of 70% ethanol. Centrifuge for 10 minutes, 12000 rounds per minute at 4°C, decant the precipitate (repeat 2–3 times). Dry at room temperature and dissolve DNA in 50 µl of distilled water twice. Store in the freezer at –20°C until use.

ITS gene amplification via PCR technique

The ITS gene fragments amplified via PCR technique with ITSF / ITSR specific primers were obtained on T100 Thermal Cycler Bio-Rad PCR machine (Table 1). The amplified ITS gene fragment was expected to be about 700 nucleotides long. The reaction was carried out with a total volume of 25 µl, including 12.5 µl Maxter Mix 2X (Thermo Scientific), 1 µl for each primer, 1 µl DNA template and 9.5 µl deionized water. The PCR cycle included denaturation starting at 94°C for 4 minutes; repeated 25 cycles including: denaturing at 94°C for 30 seconds, attaching primer at 55°C for 40 seconds, synthesizing and lasting at 72°C for 40 seconds. The process ended by exposing it to 72°C for 10 minutes and storing at 4°C.

Table 1. ITS primers used for PCR amplification

Таблица 1. Праймеры, использованные для амплификации района ITS

Primer code		Sequence (5’→3’)	Source
ITS	F	AGGAGAAGTCGTAACAAGGTTTCC	Macrogen (South Korea)
	R	GATATGCTTAAACTCAGCGGGTC	

Electrophoresis for PCR product testing

The PCR products were electrophoresed on 0.8% agarose gel. The gels were then removed from the electrophoresis equipment and gently transfered to a container with ethidium bromide solution, in which they were stained for 10 minutes. The gels were washed by being soaked in water for 2–3 minutes before being put into a machine for ultraviolet (UV) light observation and taking photos.

Purification of PCR products

The next step after amplification should be collecting the genes in a pure and gel-free form. Purification was conducted using Kit GenJET PCR Purification of Thermo Scientific.

Determination of the order of the nucleotides within an ITS gene

The order of the nucleotides within an ITS gene was determined on the ABI PRISM® 3100 Avant Genetic Analyzer, using the BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit with specific primers. The gene sequence was analyzed and compared, and a phylogenetic tree was established using BioEdit, BLAST, DNASTAR.

Results and discussion

ITS gene amplification of *A. setaceus* samples

After being amplified using PCR techniques, the ITS gene of *A. setaceus* samples were electrophoresed on 0.8% agarose gel and photographed. PCR results with specific primer pairs are shown in Fig. 1.

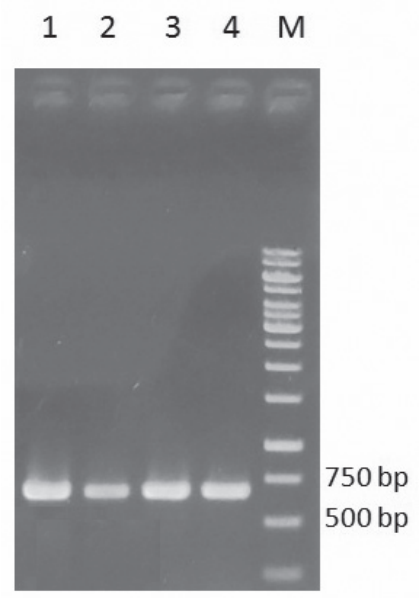


Fig. 1. PCR results with ITS primer pair for 4 *Anoectochilus setaceus* samples.
M – Molecular weight marker;
1 – XL1, 2 – XL2; 3 – PL1; 4 – PL2

Рис. 1. Результаты ПЦР 4-х образцов *Anoectochilus setaceus* с использованием пары ITS-праймеров.
M – Маркер молекулярного веса;
1 – XL1, 2 – XL2; 3 – PL1; 4 – PL2

The result of electrophoresing 4 samples with ITS F/R primers was a single band at about 700 bp. This result was consistent with theoretical calculations and served as a basis in terms of ITS gene sequencing for further research.

Determination of the ITS gene sequence of *A. setaceus* samples

After electrophoresis, ITS gene sequencing was conducted on the ABI PRISM® 3100 Avant Genetic Analyzer, using the BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit with specific primers. The findings were as follows:

Pu Luong 1 ITS sequence (PL1)

GGGAAAAAGACCCTAAAGAGGATGGATGACTTTGGATA
ACACGTGAACATTTGACGGCGGTTGCTGTCTATAAACACCAT
CCATCTATTGGCCCCTCTTGATTGAGGCAACAATAAAAAGAT
GGAGGGAAAAACAACTCGGGCGCAGTTGTGCGCCAAGGAAG
TATGTTGCATTGGCATCGATGACTATTCGCCAAAGCCTGTCG
TGCTTAGCGGAGTGTTGTTGTTGCTTCTTAAGTATTGTATGA
CTCTCGGCAATGGATATCTTGGCTCTTGCATCGATGAAGAGC
GCAGCGAAATGCGATACGTGGTGTGAATTGCAGAATCCCGTG
AACCATCAAATCTTTGAACGCAAGTTGCGCCTGAGGCCAAT
TGGCTAAGGGCACGTCCGCCTGGGCGTCAAGCATTACATCGC
TTCATTCGACACCAATTGCCCAGTATTTTGCTGTGGTGCTGG
TCTGAATGCGGAGAGTGGCCCTTCGTGCACACTTGTGCGACG
GGTTGAAGAACAATTTGCTTTCCTCTGGCCATGTTTTGATA
AAGGGGTGGTGTATGCAGCCATTAGGCCCACACTATCATCTC
ATTGCCTTGAGGAGGATAAATGTACACATTCGTGGCTGATCA
CCCGATATAAATGTCGCAGGTGACGCCCTGAAATGCGACCC
CA

Pu Luong 2 ITS sequence (PL2)

GGGAAAAAGACCCTAAAGAGGATGGATGACTTTGGATA
ACACGTGAACATTTGACGGCGGTTGCTGTCTATAAACACCAT
CCATCTATTGGCCCCTCTTGATTGAGGCAACAATAAAAAGAT
GGAGGGAAAAACAACTCGGGCGCAGTTGTGCGCCAAGGAAG
TATGTTGCATTGGCATCGATGACTATTCGCCAAAGCCTGTCG
TGCTTAGCGGAGTGTTGTTGTTGCTTCTTAAGTATTGTATGA
CTCTCGGCAATGGATATCTTGGCTCTTGCATCGATGAAGAGC
GCAGCGAAATGCGATACGTGGTGTGAATTGCAGAATCCCGTG
AACCATCAAATCTTTGAACGCAAGTTGCGCCTGAGGCCAAT
TGGCTAAGGGCACGTCCGCCTGGGCGTCAAGCATTACATCGC
TTCATTCGACACCAATTGCCCAGTATTTTGCTGTGGTGCTGG
TCTGAATGCGGAGAGTGGCCCTTCGTGCACACTTGTGCGACG
GGTTGAAGAACAATTTGCTTTCCTCTGGCCATGTTTTGATA
AAGGGGTGGTGTATGCAGCCATTAGGCCCACACTATCATCTC
ATTGCCTTGAGGAGGATAAATGTACACATTCGTGGCTGATCA
CCCGATATAAATGTCGCAGGTGACGCCCTGAAATGCGACCC
CA

Xuan Lien 1 Sequence (XL1)

GGGAAAAAGACCCTAAAGAGGATGGATGACTTTGGATA
ACACGTGAACATTTGACGGCGGTTGCTGTCTATAAACACCAT
CCATCTATTGGCCCCTCTTGATTGAGGCAACAATAAAAAGAT
GGAGGGAAAAACAACTCGGGCGCAGTTGTGCGCCAAGGAAG
TATGTTGCATTGGCATCGATGACTATTCGCCAAAGCCTGTCG
TGCTTAGCGGAGTGTTGTTGTTGCTTCTTAAGTATTGTATGA
CTCTCGGCAATGGATATCTTGGCTCTTGCATCGATGAAGAGC
GCAGCGAAATGCGATACGTGGTGTGAATTGCAGAATCCCGTG
AACCATCAAATCTTTGAACGCAAGTTGCGCCTGAGGCCAAT
TGGCTAAGGGCACGTCCGCCTGGGCGTCAAGCATTACATCGC
TTCATTCGACACCAATTGCCCAGTATTTTGCTGTGGTGCTGG
TCTGAATGCGGAGAGTGGCCCTTCGTGCACACTTGTGCGACG
GGTTGAAGAACAATTTGCTTTCCTCTGGCCATGTTTTGATA
AAGGGGTGGTGTATGCAGCCATTAGGCCCACACTATCATCTC
ATTGCCTTGAGGAGGATAAATGTACACATTCGTGGCTGATCA
CCCGATATAAATGTCGCAGGTGACGCCCTGAAATGCGACCC
CA

Xuan Lien 2 Sequence (XL2)

GGGAAAAAGACCCTAAAGAGGATGGATGACTTTGGATA
ACACGTGAACATTTGACGGCGGTTGCTGTCTATAAACACCAT
CCATCTATTGGCCCCTCTTGATTGAGGCAACAATAAAAAGAT
GGAGGGAAAAACAACTCGGGCGCAGTTGTGCGCCAAGGAAG
TATGTTGCATTGGCATCGATGACTATTCGCCAAAGCCTGTCG

TGCTTAGCGGAGTGTTGTTGTTGCTTCTTAAGTATTGTATGA
CTCTCGGCAATGGATATCTTGGCTCTTGCATCGATGAAGAGC
GCAGCGAAATGCGATACGTGGTGTGAATTGCAGAATCCCGTG
AACCATCAAATCTTTGAACGCAAGTTGCGCCTGAGGCCAAT
TGGCTAAGGGCACGTCCGCCTGGGCGTCAAGCATTACATCGC
TTCATTCGACACCAATTGCCCAGTATTTTGCTGTGGTGCTGG
TCTGAATGCGGAGAGTGGCCCTTCGTGCACACTTGTGCGACG
GGTTGAAGAACAATTTGCTTTCCTCTGGCCATGTTTTGATA
AAGGGGTGGTGTATGCAGCCATTAGGCCCACACTATCATCTC
ATTGCCTTGAGGAGGATAAATGTACACATTCGTGGCTGATCA
CCCGATATAAATGTCGCAGGTGACGCCCTGAAATGCGACCC
CA

Based on 4 sequences from the isolation, we found that the nucleotide order of the studied samples were equal (667 nucleotides); then we made a comparison with the ITS gene sequence published in GenBank as a basis for further research.

Analysis of the studied ITS sequences in comparison with the ITS sequences published in GenBank

DNASTAR software was used to compare the studied ITS sequences with the ITS sequences published in the GenBank database. The results are shown in Fig. 2.

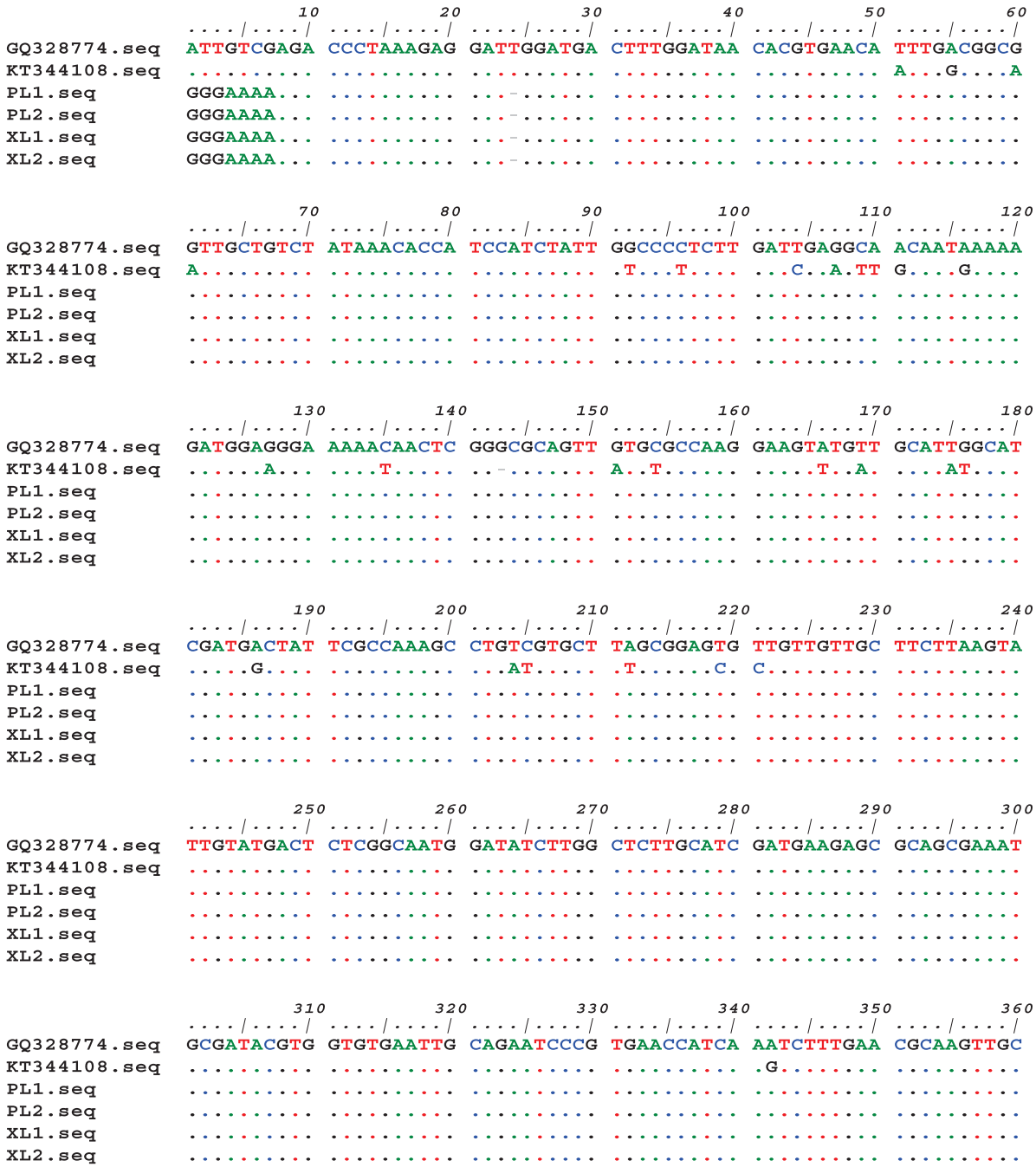


Fig. 2. Comparison among the studied ITS sequences (XL1, XL2, PL1 and PL2) with the ITS sequences in the GenBank database (GQ328774 and KT344108)

Рис. 2. Сравнительный анализ изучаемых ITS-последовательностей (XL1, XL2, PL1 и PL2) и ITS-последовательностей из базы данных GenBank (GQ328774 и KT344108)

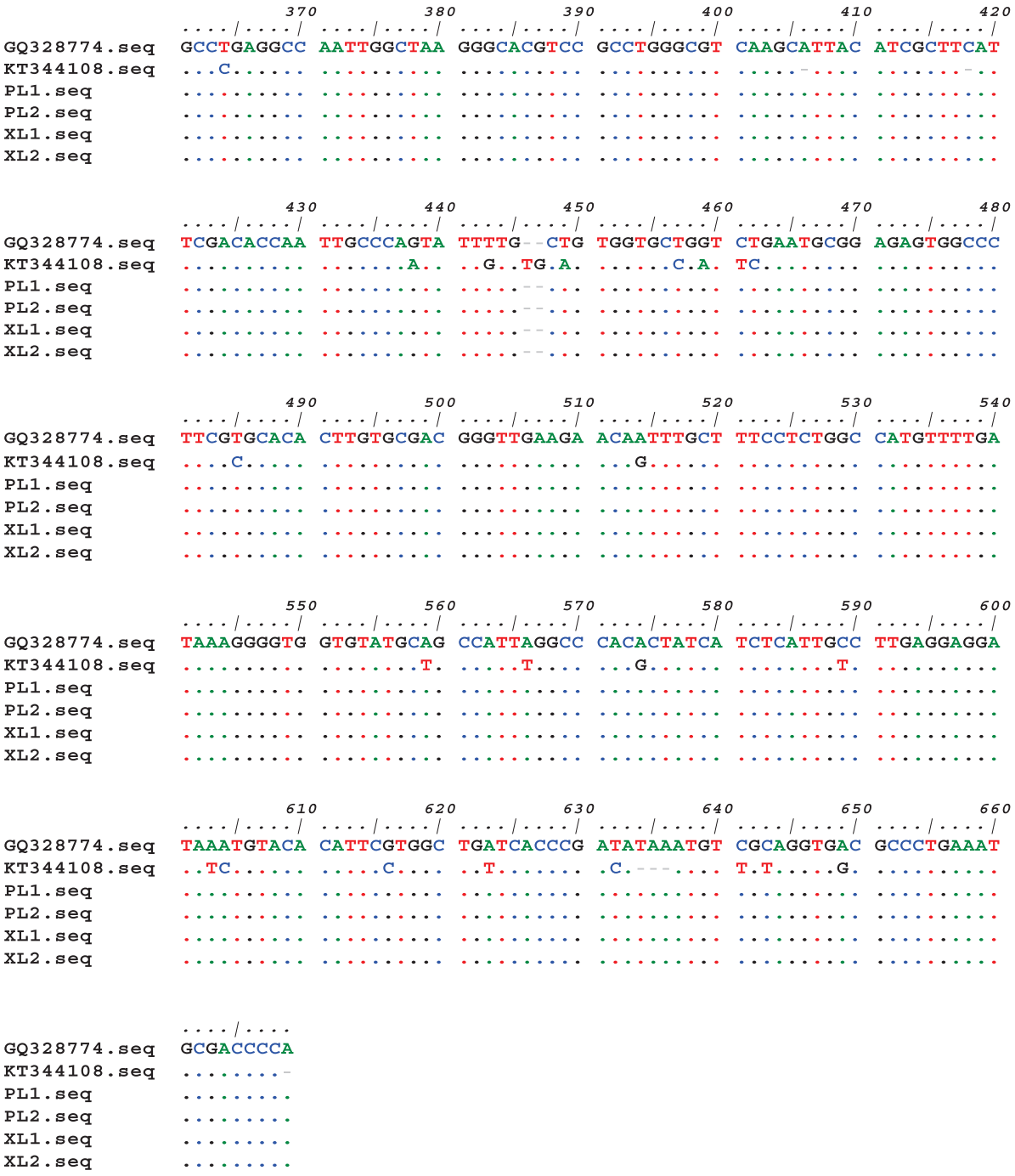


Fig. 2 (continued). **Comparison among the studied ITS sequences (XL1, XL2, PL1 and PL2) with the ITS sequences in the GenBank database (GQ328774 and KT344108)**

Рис. 2 (продолжение). **Сравнительный анализ изучаемых ITS-последовательностей (XL1, XL2, PL1 и PL2) и ITS-последовательностей из базы данных GenBank (GQ328774 и KT344108)**

It can be seen that *A. setaceus* samples collected in Pu Luong (PL1 and PL2) and Xuan Lien (XL1 and XL2) had the same nucleotide order of the ITS region (Table 2), which reconfirm that the studied samples collected in Pu Luong and Xuan Lien were the same species. However, the studied ITS sequences were markedly different from an ITS sequence coded KT344108 published in GenBank. The details are presented in Table 2.

Table 2 shows that there is a different position between the studied ITS gene sequence and the one coded GQ328774 in GenBank. To be more specific, at the 24th position of GQ328774 there was T, while G was recognized at this position of the 4 *A. setaceus* samples. However, there were huge differences between the 4 studied ITS gene sequences and KT344108 as there were up to 50 different positions (Table 2). Therefore, it was possible to conclude that the *A. setaceus* samples and *A. roxburghii* species whose ITS gene sequence published in Genbank, GQ328774, were the same species. This also showed that the variability of the conservative nucleotide sequence of a nuclear gene (ITS) was not high among individuals of the same species (Álvarez, Wendel, 2003).

Table 2. **Differences between the studied ITS sequences (XL1, XL2, PL1 and PL2) and the ITS gene sequences in the GenBank database (GQ328774 and KT344108)**

Таблица 2. **Различия между изучаемыми ITS-последовательностями (XL1, XL2, PL1 и PL2) и ITS-последовательностями из базы данных GenBank (GQ328774 и KT344108)**

No.	Location	GQ328774	XL1	XL2	PL1	PL2	KT344108
1	24	T	G	G	G	G	T
2	51	T	G	G	G	G	A
3	55	A	A	A	A	A	G
4	60	G	G	G	G	G	A
5	91	G	G	G	G	G	T
6	96	C	C	C	C	C	T
7	104	T	T	T	T	T	C
8	107	A	A	A	A	A	G
9	109	C	C	C	C	C	T
10	110	A	A	A	A	A	T
11	101	A	A	A	A	A	T
12	111	A	A	A	A	A	G
13	116	A	A	A	A	A	G
14	127	G	G	G	G	G	A
15	135	C	C	C	C	C	T
16	151	G	G	G	G	G	A
17	154	C	C	C	C	C	T
18	166	A	A	A	A	A	T
19	169	T	T	T	T	T	A
20	175	T	T	T	T	T	A
21	176	G	G	G	G	G	T
22	186	A	A	A	A	A	G
23	204	T	T	T	T	T	A
24	205	C	C	C	C	C	T
25	212	A	A	A	A	A	T
26	219	T	T	T	T	T	C
27	221	T	T	T	T	T	C
28	342	A	A	A	A	A	G
29	364	T	T	T	T	T	C
30	438	G	G	G	G	G	A
31	443	T	T	T	T	T	G
32	449	T	T	T	T	T	A
33	457	T	T	T	T	T	C
34	459	G	G	G	G	G	A

Table 2. The end

Таблица 2. Окончание

No.	Location	GQ328774	XL1	XL2	PL1	PL2	KT344108
35	461	C	C	C	C	C	T
36	462	T	T	T	T	T	C
37	485	T	T	T	T	T	C
38	553	A	A	A	A	A	G
39	559	A	A	A	A	A	T
40	566	A	A	A	A	A	T
41	574	A	A	A	A	A	G
42	589	C	C	C	C	C	T
43	603	A	A	A	A	A	T
44	604	A	A	A	A	A	C
45	616	G	G	G	G	G	C
46	623	A	A	A	A	A	T
47	632	T	T	T	T	T	C
48	641	C	C	C	C	C	T
49	643	C	C	C	C	C	T
50	649	A	A	A	A	A	G

The genetic relationship among the studied ITS gene sequences and the ones published in GenBank was analyzed using BioEdit software. The results are shown in Table 3 and Fig. 3.

It can be pointed out that the ITS gene sequences of *A. setaceus* samples collected at Xuan Lien (XL1 and XL2) and Pu Luong (PL1 and PL2) of Thanh Hoa were the same and similar to GQ328774 of *A. roxburghii*. The differences were very small. The genetic relationship among the samples and KT344108 (*A. lanceolatus*) was relatively large, as shown in Fig. 3.

The findings show that the ITS gene sequences of *A. setaceus* samples collected at Xuan Lien (XL1 and XL2) and Pu Luong (PL1 and PL2) and ITS gene sequence of A. *roxburghii* (GQ328774) were related to the same species and had a relatively large dissociation coefficient with *A. lanceolatus* (KT344108). The ITS gene sequences of *A. setaceus* samples collected at Xuan Lien (XL1 and XL2) were not genetically different from those collected in Pu Luong (PL1 and PL2). It is also proved that the method employing internal transcribed spacer (ITS) sequences is an effective tool to identify *A. setaceus*.

Table 3. Comparison among the studied ITS gene sequences (XL1, XL2, PL1 and PL2) with the ITS gene sequences in the GenBank database (GQ328774 and KT344108)

Таблица 3. Сравнительный анализ изучаемых ITS-последовательностей (XL1, XL2, PL1 и PL2) и ITS-последовательностей из базы данных GenBank (GQ328774 и KT344108)

	Percent Identity							
	1	2	3	4	5	6		
1		92.6	98.9	98.9	98.9	98.9	1	GQ328774.seq
2	7.9		91.5	91.5	91.5	91.5	2	KT344108.seq
3	1.1	9.1		100.0	100.0	100.0	3	PL1.seq
4	1.1	9.1	0.0		100.0	100.0	4	PL2.seq
5	1.1	9.1	0.0	0.0		100.0	5	XL1.seq
6	1.1	9.1	0.0	0.0	0.0		6	XL2.seq
	1	2	3	4	5	6		

Divergence

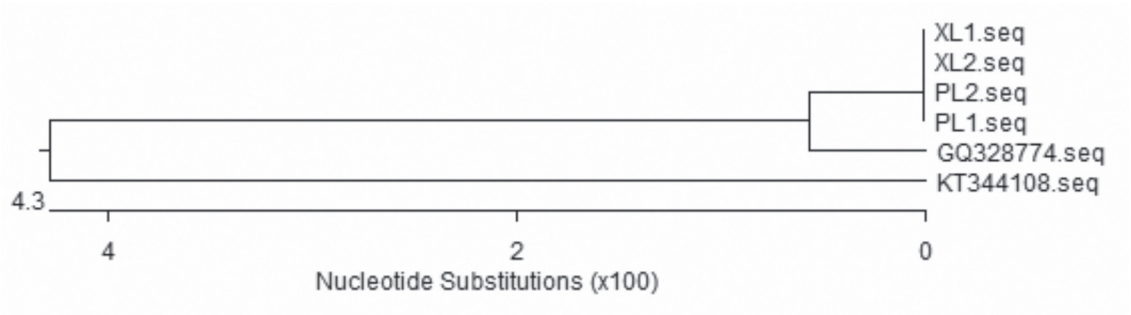


Fig. 3. Tree diagram showing the genetic relationship between the studied ITS gene sequences (XL1, XL2, PL1 and PL2) and the ITS gene sequences published in the GenBank database

Рис. 3. «Филогенетическое древо», построенное на основе сравнения изучаемых ITS-последовательностей (XL1, XL2, PL1 и PL2) и ITS-последовательностей из базы данных GenBank

Conclusion

The ITS gene sequences of *A. setaceus* in Thanh Hoa were successfully isolated and read in this study; the studied ITS gene was 667 nucleotides long and 99% similar to the ITS gene sequence of *A. roxburghii* published in GenBank, GQ328774. The study results also showed that the ITS gene sequences of *A. setaceus* samples collected at Xuan Lien (XL1 and XL2) and Pu Luong (PL1 and PL2) of Thanh Hoa province were not different, which meant the samples belonged to the same species.

References

Álvarez I., Wendel J.F. Ribosomal ITS sequences and plant phylogenetic inference. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2003;29(3):417-434. DOI: 10.1016/S1055-7903(03)00208-2

Baldwin B.G., Sanderson M.J., Porter J.M., Wojciechowski M.F., Campbell C.S., Donoghue M.J. The ITS region of nuclear ribosomal DNA: a valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1995;82(2):247-277. DOI: 10.2307/2399880

Chac L.D., Thinh B.B., Huong H.T.T., Kiet N.T., Huan L.Q. Quantification of quercetin, isorhamnetin and ferulic acid in dry extract of *Anoectochilus setaceus* Blume from Vietnam. *International Journal of Botany Studies*. 2019;4(5):14-18.

Chen J.R., Shiau Y.J. Application of internal transcribed spacers and maturase K markers for identifying *Anoectochilus*, *Ludisia*, and *Ludochilus*. *Biologia Plantarum*. 2015;59(3):485-490. DOI: 10.1007/s10535-015-0520-3

Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemistry Bulletin*. 1987;19(1):11-15.

Gigliano S.S. Preliminary data on the usefulness of internal transcribed spacer I (ITS1) sequence in *Cannabis sativa* L. identification. *Journal of Forensic Science*. 1999;44(3):475-477. DOI: 10.1520/JFS14497J

He C.N., Wang C.L., Guo S.X., Yang J.S., Xiao P.G. A novel flavonoid glucoside from *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2006;48(3):359-363. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2006.00179.x

Hu S.J., Hu H.Y., Gao H.., Liu X., Chen S.L. DNA barcoding and rapid identification of the precious herb Herba Anoectochili. *Chinese Journal of Natural Medicines*. 2019;17(10):738-745. DOI: 10.1016/S1875-5364(19)30090-1

Kress W.J., Wurdack K.J., Zimmer E.A., Weigt L.A., Janzen D.H. Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005;102(23):8369-8374. DOI: 10.1073/pnas.0503123102

Li D.Z., Gao L.M., Li H.T., Wang H., Ge X.J., Liu J.Q. et al. Comparative analysis of a large dataset indicates that internal transcribed spacer (ITS) should be incorporated into the core barcode for seed plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011;108(49):19641-19646. DOI: 10.1073/pnas.1104551108

Li M., Cao H., But P.P.H., Shaw P.C. Identification of herbal medicinal materials using DNA barcodes. *Journal of Systematics and Evolution*. 2011;49(3):271-283. DOI: 10.1111/j.1759-6831.2011.00132.x

Lin J.M., Lin C.C., Chiu H.F., Yang J.J., Lee S.G. Evaluation of the anti-inflammatory and liver-protective effects of *Anoectochilus formosanus*, *Ganoderma lucidum* and *Gynostemma pentaphyllum* in rats. *The American Journal of Chinese Medicine*. 1993;21(01):59-69. DOI: 10.1142/S0192415X9300008X

Lin C.C., Huang P.C., Lin J.M. Antioxidant and hepatoprotective effects of *Anoectochilus formosanus* and *Gynostemma pentaphyllum*. *The American Journal of Chinese Medicine*. 2000;28(01):87-96. DOI: 10.1142/S0192415X00000118

Lv T., Teng R., Shao Q., Wang H., Zhang W., Li M. et al. DNA barcodes for the identification of *Anoectochilus roxburghii* and its adulterants. *Planta*. 2015;242(5):1167-1174. DOI: 10.1007/s00425-015-2353-x

Stoeckle M. Taxonomy, DNA, and the bar code of life. *BioScience*. 2003;53(9):796-797. DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0796:TDATBC]2.0.CO;2

Takamiya T., Wongsawad P., Tajima N., Shioda N., Lu J.F., Wen C.L. et al. Identification of *Dendrobium* species used for herbal medicines based on ribosomal DNA internal transcribed spacer sequence. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 2011;34(5):779-782. DOI: 10.1248/bpb.34.779

Techen N., Parveen I., Pan Z., Khan I.A. DNA barcoding of medicinal plant material for identification. *Current Opinion in Biotechnology*. 2014;25:103-110. DOI: 10.1016/j.copbio.2013.09.010

Tripathi A.M., Tyagi A., Kumar A., Singh A., Singh S., Chaudhary L.B. et al. The internal transcribed spacer (ITS) region and trnhH-psbA are suitable candidate loci for DNA barcoding of tropical tree species of India. *PLOS ONE*. 2013;8(2):e57934. DOI: 10.1371/journal.pone.0057934

Vietnam Academy of Science and Technology. *Vietnam Red Data Book, Part II. Plants*. Hanoi: Natural Science and Technology Publish. House; 2007. [in Vietnamese]

Wang S.Y., Kuo Y.H., Chang H.N., Kang P.L., Tsay H.S., Lin K.F. et al. Profiling and characterization antioxidant activities in *Anoectochilus formosanus* Hayata. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(7):1859-1865. DOI: 10.1021/jf0113575

Wang X., Xue J., Zhang Y., Xie H., Wang Y., Weng W. et al. DNA barcodes for the identification of *Stephania* (Menispermaceae) species. *Molecular Biology Reports*. 2020;47:2197-2203. DOI: 10.1007/s11033-020-05325-6

Yang J.B., Wang Y.P., Möller M., Gao L.M., Wu D. Applying plant DNA barcodes to identify species of *Parnassia* (Parnassiaceae). *Molecular Ecology Resources*. 2012;12(2):267-275. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2011.03095.x

Ye S., Shao Q., Zhang A. *Anoectochilus roxburghii*: A review of its phytochemistry, pharmacology, and clinical applications. *Journal of Ethnopharmacology*. 2017;209:184-202. DOI: 10.1016/j.jep.2017.07.032

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

Тхинь Б.Б., Чак Л.Д., Тху Л.Т.М. Применение последовательностей внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS) для идентификации образцов *Anoectochilus setaceus* Blume в Тханьхоа (Вьетнам). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):108-116. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-108-116

Thinh B.B., Chac L.D., Thu L.T.M. Application of internal transcribed spacer (ITS) sequences for identifying A*noectochilus setaceus* Blume in Thanh Hoa, Vietnam. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):108-116. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-108-116

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/10.30901/2227-8834-2020-2-108-116

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Thinh B.B. https://orcid.org/0000-0002-3826-1199
Chac L.D. https://orcid.org/0000-0002-0845-4678
Thu L.T.M. https://orcid.org/0000-0002-3872-996X

Morphological characterization of biominerals from five multicellular marine algae species

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-117-122
УДК 581.1
Поступление/Received: 02.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

A. M. ZAKHARENKO [1], M. A. NAWAZ [1]*, V. V. CHAIKA [1], I. V. ZEMCHENKO [1], T. YU. ORLOVA [2], A. A. BEGUN [2], R. V. ROMASHKO [3], A. N. GALKINA [3], A. A. KARABTSOV [4], G. CHUNG [5], K. S. GOLOKHVAST [1, 6]*

[1] Far Eastern Federal University, 8 Sukhanova St., Vladivostok 690091, Russia
**amjad_ucauos@yahoo.com; rarf@yandex.ru; chayka.vv@dvfu.ru*

[2] Center for Toxic Algae and Algal Blooms Monitoring in Coastal Waters, A.V. Zhirmunsky Institute of Marine Biology, 17 Palchevskogo St., Vladivostok 690041, Russia
torlova06@mail.ru

[3] Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 5 Radio St., Vladivostok 690041, Russia
omashko@iacp.dvo.ru

[4] Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159 Pr. 100-letiya Vladivostoka, Vladivostok 690022, Russia
karabzov@fegi.ru

[5] Chonnam National University, Yeosu, 59626, Republic of Korea
chung@chonnam.ac.kr

[6] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
** droopy@mail.ru*

Морфологическая характеристика биоминералов из пяти видов морских водорослей

А. М. ЗАХАРЕНКО [1], М. А. НАВАЗ [1]*, В. В. ЧАЙКА [1], И. В. ЗЕМЧЕНКО [1], Т. Ю. ОРЛОВА [2], А. А. БЕГУН [2], Р. В. РОМАШКО [3], А. Н. ГАЛКИНА [3], А. А. КАРАБЦОВ [4], Г. ЧАНГ [5], К. С. ГОЛОХВАСТ [1, 6]*

[1] Дальневосточный федеральный университет, 690091 Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, 8
**amjad_ucauos@yahoo.com; rarf@yandex.ru; chayka.vv@dvfu.ru*

[2] Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского, 690041 Россия, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17
torlova06@mail.ru

[3] Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690041 Россия, г. Владивосток, ул. Радио, 5
romashko@iacp.dvo.ru

[4] Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690022 Россия, г. Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159
karabzov@fegi.ru

[5] Национальный университет Чоннам, 59626 Йосу, Республика Корея
chung@chonnam.ac.kr

[6] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
** droopy@mail.ru*

Silica biominerals are deposited as amorphous solid structures in plant cells and tissues, providing rigidity to different plant parts and assisting in defence. The shape and size of phytoliths are well established and serve as a useful tool in taxonomic analyses. For the first time we extracted and studied silica biominerals of five marine macroalgae, which we observed by light microscopy, scanning electron microscopy, and X-ray diffraction analysis (XRD). More than nine different morphotypes of phytoliths ranging from ≥ 10 to ≥ 350 µm in size were found. Some of them were phytoliths made of silica while others showed characteristics of different minerals of calcium. In our study, the "honeycomb" formations were only recorded in *Laurencia tropica* Yamada and pyramid tabular ones were found only in *Tichocarpus crinitus* (S.G. Gmelin) Ruprecht. The XRD analysis showed that they consisted of virgilite and gypsum substance, respectively. Silica phytoliths are intrinsic parts of the algae and their morphological characterization can provide the basis for palaeo-reconstruction and taxonomic investigation of brown and red algae in palaeontological studies of fossils where all organic matter has decayed.

Key words: biosilica, morphotypes, phytoliths, taxonomic analysis.

Кремниевые биоминералы расположены в виде аморфных структур в клетках и тканях растений, обеспечивая жесткость структуры и защитные функции. Форма и размеры фитолитов хорошо известны и являются полезным инструментом в таксономическом анализе. Впервые мы извлекли и изучили биоминералы кремнезема из пяти морских макроводорослей, которые мы изучили с помощью световой микроскопии, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа (XRD). Было обнаружено более девяти различных морфотипов фитолитов с размерами от ≥ 10 до ≥ 350 микрометров. Часть из этих фитолитов были из оксида кремния, другие из минералов на основе кальция. Гексагональные «сотовые» образования были зарегистрированы только у водоросли *Laurencia tropica* Yamada, а фитолиты пирамидальной формы были обнаружены только у красной водоросли *Tichocarpus crinitus* (S.G. Gmelin) Ruprecht. Рентгеноструктурный анализ показал, что они состоят из виргилита и гипса соответственно. Кремниевые фитолиты являются неотъемлемыми частями водорослей, и их морфологическая характеристика может служить основой для палеореконструкции и таксономического исследования бурых и красных водорослей в палеонтологических исследованиях окаменелостей, где вся органическая материя уже разложилась.

Ключевые слова: биргенный кремний. морфотипы, фитолиты, таксономический анализ.

Introduction

Algaculture is the only aquaculture industry involved in plant production, i.e., primary production. Algaculture is focused on marine, estuarine and freshwater algae (Romanenko et al., 2017; Çelekli et al., 2019). There is no doubt that the process of biomineralization inherent to terrestrial plants is also present in algae. Biominerals are ubiquitous in all classical kingdoms of life: in the ocean, in inland waters, and on land. Interestingly, different members of kingdom plantae produce a suite of rigid microscopic biominerals of various compositions i. e., silicon dioxide (silica), calcium carbonate, calcite (calcite coccoliths), and calcium oxalate (cystoliths) with significant quantities of phosphorous,magnesium,aluminium,etc.Biomineralization (silicification and calcification) has arisen very early in plant linages, i.e., red algae (Florideophyceae), green algae (Ulvophyceae and Charophyceae), brown algae (Phaeophyceae), and Prymnesiophyceae (Raven and Giordano, 2009). Calcium carbonate and/or calcium oxalate accumulates in red and brown algae extracellularly and intracellularly, respectively (Rao et al., 2014). Silica also accumulates in some green and brown algae and is thought to be mainly located on intracellular compartment, i.e., in cell-walls (Parker, 1969). Strictly speaking, phytoliths are amorphous silica deposits, while distinctions for other types of biominerals exist; however, for the purpose of this study, the term "phytolith" will be generalized to all types of observed biominerals in target species. Phytoliths can also be deposited within different intracellular and extracellular structures of plants and, being inorganic matter, they remain as discrete microscopic particles of various shapes and sizes and are, possibly, the most resilient plant fossils (Cuif et al., 2010). Silica provides rigidity to different seaweeds, assists in the protection of reproductive tissues, and aids seaweed growth (Mizuta, Yasui, 2012). Whereas deposited forms of calcium in plants and algae have debateable functions, such as mechanical support, enhancement of photosynthesis by bicarbonate uptake, and it is known that the occurrence of photosynthesis decreases the carbon dioxide production during calcification and affects the net carbon dioxide uptake (Raven and Giordano, 2009).

The utility of phytoliths in fossil and archaeological reconstruction of plant has become a major application (Piperno, 2006; Currie and Perry, 2007). Plant phytoliths are used in taxonomic analyses, paleo-ecological and archaeological studies (Ball et al., 2016; Hodson, 2016; Zurro et al., 2016). Considerable size and structural variation in phytoliths has been reported in many plant species and been used to determine plant species in particular environments or to date fossil samples (Hodson, 2016). Moreover, the shape of individual phytoliths could possibly yield broader group assignment and more precise taxonomic ranking (Song et al.; 2016; Zurro et al., 2016). However, phytoliths in seaweed have not been studied extensively, especially their morphology and difference between seaweed and plant phytoliths.

Frequent occurrence of crystalline idioblasts (calcic mineral, crystalline calcium oxalate) in plants confirms that it is the most widespread crystalline biomineralization product in the plant kingdom. These idioblasts are formed of weddellite and whewellite in plants, e.g., cacti (*Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britton & Rose), and are converted from weddellite to calcite, which is deposited for longer times and may also serve as carbon sink (Garvie, 2003). Interestingly, phytoliths (especially of calcium nature) can be cubic, parallelepipedal, tubular oblong, pyramidal, cylindrical polylobate, and of many other defined geometric shapes (Morgan-Edel et al., 2015). While amorphous silica biominerals with unique identifiable characteristics are produced in large quantities in different groups within the plant kingdom and hence, phytolith surface ornamentation, length, thickness, shape, frequency, and geometry are the basic identification characteristics observed using several microscopic techniques, such as light, transmission electron microscopy, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray diffraction (XRD) analysis) (Piperno, 2006).

In this study, we used light microscopy, SEM, and XRD for morphological and compositional categorization of phytoliths in three species of red algae (*Mastocarpus stellatus* (Stackhouse) Guiry, *Tichocarpus crinitus* (S.G. Gmelin) Ruprecht, and *Laurencia tropica* Yamada) and two species of brown algae (*Saccharina latissima* (L.) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, *Fucus evanescens* C. Agardh), which are found on the Russian side of the Sea of Japan (Maggs, Stegenga, 1999; Garbary, Tarakhovskaya, 2013). These morphological characterizations will provide the basis for palaeontological studies where the differences in morphology of inorganic remains of algae may prove useful for their taxonomic identification.

Materials and Methods

Extraction of phytoliths

Three species of red algae, *M. stellatus*, *T. crinitus* and *L. tropica*, and two species of brown algae, *S. latissima* and *F. evanescens*, were used in the study. Five specimens of each species were collected at depths of 3–6 m from the Sea of Japan (45°01'21.2"N 136°42'23.3"E); they were identified using monographs, floristic studies, and systematic articles (Saunders, Hommersand, 2004; Zuccarello et al., 2005; Belous et al., 2013). Then algae were placed into plastic containers and stored at –5°C for two days. Phytoliths were extracted using the modified Piperno technique (Piperno, 2006). Approximately 30–50 g of thalli per sample were washed with distilled water twice and burned in covered ceramic-enamelled crucibles in a muffle furnace at +450°C for 4 hrs. The ash was then transferred into glass centrifuge tubes and washed thoroughly with 10 ml of 10% HCl and concentrated nitric acid for 10 minutes, with periodic stirring of the test tube. The samples were then rinsed twice with 10 ml of distilled water and centrifuged for 10 min at 150 g, followed by decanting of water, leaving 0.5 ml mixture in the test tube. A further 200 µl of solution was removed from the test tube bottom with a pipette and the mixture was subjected to microscopy. The remaining solution was used for XRD analysis.

Microscopic investigation

The processed samples were individually placed on a microscope slide. They were examined within one hour on an AxioScope A1 light microscope (Zeiss, Germany) using an AxioCam 3 digital video camera (Zeiss, Germany). The length and width of each particle were measured using the Axio Vision 4.2 program (Zeiss; Oberkochen, Germany). Their morphologies were evaluated by SEM using a Hitachi S-3400N (Hitachi; Tokyo, Japan) with an ultra-dry energy dispersive spectrometer (Thermo Fisher Scientific; Waltham, MA, USA) or with a tabletop SEM TM1000 (Hitachi; Tokyo, Japan). When examined under the S-3400N microscope, the samples were sprayed with platinum; they remained unsprayed when using the TM1000. The definitions of morphotypes as well as the descriptions of phytoliths and

other unidentified mineral particles were carried out according to the International Code for Phytolith Nomenclature 1.0 (Madella et al., 2005).

Mineralogical analysis

Biomineral particles were characterized by XRD analysis. Solutions containing the washed sediments were placed in plastic vials and left to dry completely for 24 hours at ambient temperature; the dry mass was used for mineralogical analysis. The determination of mineral type was carried out using a Maniple Bench Top X-ray Diffraction Analyzer (Riau; Tokyo, Japan), with 30 kV, 15 mA, and monochrome settings.

Results and Discussion

Phytoliths have been recently recognized as proxies to reconstruct ancient environment, flora, and a tool for taxonomy. The low solubility of biominerals makes them a relatively durable component of sedimentary deposits (Schiegl et al., 2004; Cabanes et al., 2011). The role of calcium and silicon phytoliths in defense against biotic and abiotic stress is well recognized and is progressing with improved understanding of various biochemical pathways (Nawaz et al., 2019). However, this development has been mainly witnessed in land plants. Biomineralization of calcium and silicon compounds in algae has not been explored in detail and description of biominerals in many macroalgae is scarce. More than a dozen types of mineral formations were revealed by light microscopy in the investigated macrophytes. Some of them were phytoliths made of silica, while others showed characteristics of different minerals of calcium (Table 1, Fig. 1).

The distribution and morphologies of biominerals varied among the studied species. The representative samples of biomineral formations found in the five algae studied are shown in Fig. 2. Microscopic examination of algal species (*S. latissima*, *F. evanescens*, *M. stellatus, T. crinitus*, and

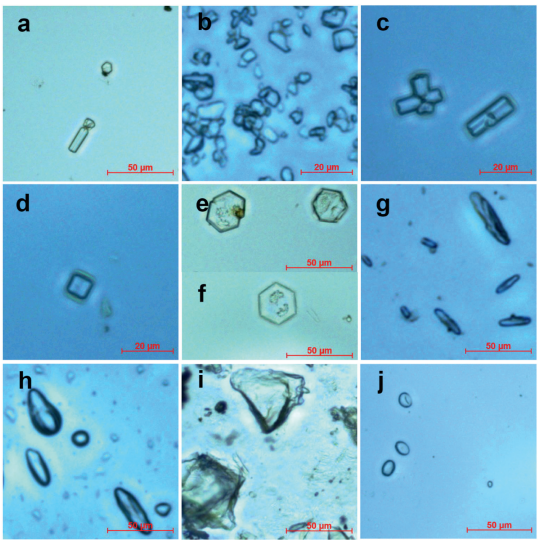


Fig. 1. Morphologies of biominerals in algae:
(a–d) showing hexagonal, rectangular, square tabular and unclassified biominerals in *Mastocarpus stellatus*; (e–h) showing hexagonal, cylindrical/oblong, globular/ovate tabular, and fusiform in *Tichocarpus crinitus*; (i) showing rectangular tabular in *Fucus evanescens*; (j) showing fusiform in *Saccharina latissima* (by: Golohvast et al., 2018)

Рис. 1. Морфология биоминералов в водорослях:
(a–d) показаны шестиугольные, прямоугольные, квадратно-пластинчатые и неклассифицированные биоминералы у *Mastocarpus stellatus*; (e–h) показаны шестиугольные, цилиндрически-продолговатые, округло-овальные, округло-овальные пластинчатые и веретенообразные у *Tichocarpus crinitus*; (i) показаны прямоугольно-пластинчатые у *Fucus evanescens*; (j) показаны веретенообразные у *Saccharina latissima* (по: Голохваст и др., 2018)

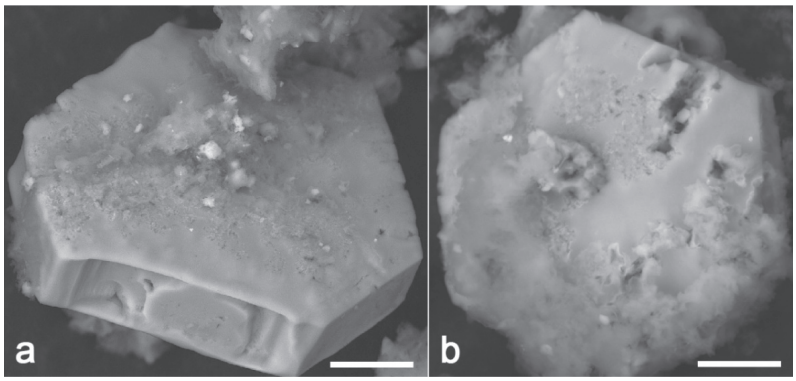


Fig. 2. Hexagonal crystals of an unknown mineral in *Tichocarpus crinitus* preparations observed. Scale bar = 10 µm.

Рис. 2. Шестиугольные кристаллы неизвестного минерала в изученных препаратах *Tichocarpus crinitus*. Шкала = 10 µm.

Table 1. **Morphotypes and size of mineral formations (in µm) found in five macrophyte preparations. L = maximum length; W = maximum width**

Таблица 1. **Морфотипы и размеры минеральных образований (в µm), обнаруженных в пяти макрофитных препаратах. L = максимальная длина; W = максимальная ширина**

No.	Morphotype	Material	*Mastocarpus stellatus*	*Tichocarpus crinitus*	*Laurencia tropica*	*Fucus evanescens*	*Saccharina latissima*
1	Cylindrical/ oblong tabular	silica or unknown		L 10–70	L 25–350		
2	Globular/ovate tabular	silica		L 5–60	L 5–45	L 10–15	
3	Fusiform	silica		W 7–25 L 15–50			L 10–25
4	Hexagonal tabular	unknown	L ~ 10	L 15–25			
5	Pyramidal tabular	silica or unknown		W 10–70 L 25–70			
6	Square tabular	unknown	L ~ 10				
7	Rectangular tabular	unknown	W 8–10 L 12–35		L 30–100	W 100–130 L ~50	W 15–20 L 50–60
8	Ovate favose (honeycomb)	silica			W 50–70 L 120–150		
9	Unclassified	silica or unknown	L 25–35	L 15–30	L 10–40	L 10–20	

L. tropica) revealed various structural types of phytoliths (i.e., cylindric/oblong tabular, globular/ovate tabular, fusiform, hexagonal tabular, pyramid tabular, square tabular, rectangular tabular, and ovate-favose) (Table 1). In our study, the "honeycomb" formations were only recorded in *L. tropica* and pyramid tabular were found only in *T. crinitus* (Table 1). The XRD analysis showed that material consisted of virgilite and gypsum substance. (Fig. 3).

In a previous study, we identified phytoliths in some brown macroalgae, such as *Fucus evanescens*, *Sargassum miyabei* Yendo, *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh, and *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V. Lamouroux (Golokhvast et al., 2015). This is a first attempt to describe and compare the phytoliths in red and brown macroalgae. Through microscopic examination, the maximum number of morphotypes was observed in *Tichocarpus crinitis* (6) followed by

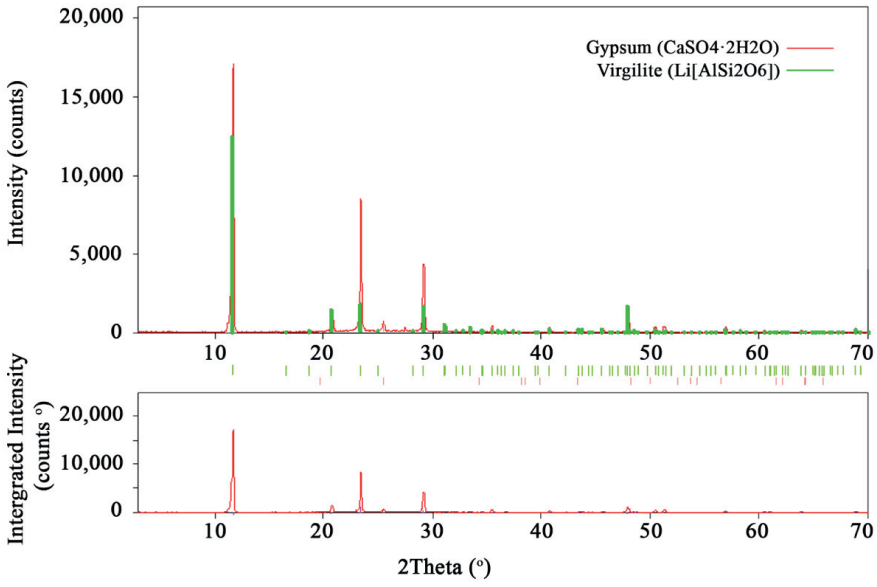


Fig. 3. **A typical X-ray diffraction pattern of a mineral sample obtained after drying preparations of the red alga *Mastocarpus stellatus***

Рис. 3. **Типичная рентгеновская дифрактометрия образца минерала, полученная после высушивания препаратов красной водоросли *Mastocarpus stellatus***

Laurencia tropica (5), *Mastocarpus stellatus* (4), *Fucus evanescens* (3), and *Saccharina latissima* (2). The hexagonal mineral formation in *Mastocarpus stellatus* and *T. crinitis* is the first finding of this geometrical shape in algae phytoliths. Cylindrical or oblong, pyramidal tabular, square, rectangular tabular crystals described in *Cladophorophyceae* (Leliaert and Coppejans, 2004) were also observed in this study. Cylindrical or oblong tabular forms were not found in either two brown algae. Moreover, these cryptal types also were not observed in *Turbinaria ornata*, *Sargassum miyabei*, or *Dictyota dichotoma* (Golokhvast et al., 2015), which leads to our hypothesis that cylindrical or oblong tabular phytoliths are only contained in red and green seaweeds.

The size ranges of the phytoliths in the algae examined were different from the phytoliths found in plants. In our algae samples they varied from ≥ 10 to ≤ 350 μm, while relatively smaller phytoliths (6.9–25.2 μm) have been reported in grasses (Piperno, 1984). Morphotypes of phytoliths in twelve species of marine angiosperms were also comparatively small (from 9.0 to 92.0 μm), up to 101 μm in *Arthrocnemum indicum* (Willd.) Moq. (Kumari, Kumarasamy, 2014). In our study, the smallest morphotype (square tabular, 10 μm) was found only in *Mastocarpus stellatus* (Table 1). The observation of phytoliths of fixed geometrical shapes, i.e., hexagonal, rectangular and square shapes, in studied macroalgae is of particular interest. Previously it was known that different plant species accumulated similar three dimensional crystals of calcium oxalate and calcite as examined in horsetail and creosote bush (Morgan-Edel et al., 2015). The mineralogical content of these crystals revealed that they are mainly composed of calcium and oxygen with inclusions of Al, S, and Fe (Fig. 3).

In conclusion, phytoliths of a regular hexagonal shape have been discovered for the first time in the red algae. Although limited by small sample size, the results of our study suggest that there are differences in phytoliths between studied seaweed species and higher plants. We recognize that our data have limits to understanding the diversity of phytolith morphology in seaweed and their application in reconstruction of paleo-environments. There is a pressing need of advancing the comparative collection of macroalgae phytolith morphologies.

The project was supported by the Russian Foundation for Basic Research (15-04-02979), Scientific Fund of the Far Eastern Federal University (13-06-0318-м_а), Grant of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation (RFMEFI59414X0006).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (15-04-02979), научного фонда Дальневосточного федерального университета (13-06-0318-м_а), гранта Министерства науки и образования Российской Федерации (RFMEFI59414 X0006).

References/Литература

Ball T., Chandler-Ezell K., Dickau R., Duncan N., Hart T. C., Iriarte J. et al. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world. *Journal of Archaeological Science.* 2016;68:32-45. DOI: 10.1016/j.jas.2015.08.010

Belous O.S., Titlyanova T.B., Titlyanov E.A. Marine plants of Trinity Bay and adjacent waters (Peter the Great Bay, Sea of Japan) (Morskiye rasteniya bukhty Troitsy i smezhnykh akvatoriy [Zaliv Petra Velikogo, Yaponskoye more]). Vladivoskok: Dalnauka; 2013. [in Russian] (Белоус О.С., Титлянова Т.Б., Титлянов Э.А. Морские растения бухты Троицы и смежных акваторий (Залив Петра Великого, Японское море). Владивосток: Дальнаука; 2013).

Cabanes D., Weiner S., Shahack-Gross R. Stability of phytoliths in the archaeological record: A dissolution study of modern and fossil phytoliths. *Journal of Archaeological Science*. 2011;38(9):2480-2490. DOI: 10.1016/j.jas.2011.05.020

Çelekli A., Alslibi Z.A., Bozkurt H. Influence of incorporated Spirulina platensis on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food. *Algal Research*, 2019;44:101710.

Cuif J.-P., Dauphin Y., Sorauf J.E. Biominerals and fossils through time. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2010.

Currie H.A., Perry C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, 2007;100(7):1383-1389. DOI: 10.1093/aob/mcm247

Garbary D.J., Tarakhovskaya E.R. Marine macroalgae and associated flowering plants from the Keret Archipelago, White Sea, Russia. *Algae*. 2013;28(3):267-280. DOI: 10.4490/algae.2013.28.3.267

Garvie L.A. Decay-induced biomineralization of the saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). *American Mineralogist*. 2003;88(11-12):1879-1888. DOI: 10.2138/am-2003-11-1231

Golohvast K.S., Chaika V.V., Zakharenko A.M., Sergievich A.A., Zemchenko I.A., Artemenko A.F., Seryodkin I.V. Hexagonal Phytolithes from Red Alga Tichocarpus crinitus. Defect and Diffusion Forum. 2018;386:256-261. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ddf.386.256

Golokhvast K., Kudryavkina O., Zakharenko A., Chaika V., Kholodov A., Seryodkin I. et al. Phytolithes (SiO_2 Microparticles) of some multicellular brown algae. *Der Pharma Chemica*. 2015;7(11):307-311.

Hodson M.J. The development of phytoliths in plants and its influence on their chemistry and isotopic composition. Implications for palaeoecology and archaeology. *Journal of Archaeological Science*. 2016;68:62-69. DOI: 10.1016/j.jas.2015.09.002

Kumari, I.S., Kumarasamy D. Studies on phytoliths in some marine plants. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 2014;4:1-5.

Leliaert F., Coppejans E. Crystalline cell inclusions: A new diagnostic character in the Cladophorophyceae (Chlorophyta). *Phycologia*. 2004;43(2):189-203. DOI: 10.2216/i0031-8884-43-2-189.1

Madella M., Alexandré A., Ball T. International code for phytolith nomenclature 1.0. *Annals of Botany*. 2005;96(2):253-260. DOI: 10.1093/aob/mci172

Maggs C.A., Stegenga H. Red algal exotics on North Sea coasts. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*. 1999;52(3-4):243.

Mizuta H., Yasui H. Protective function of silicon deposition in *Saccharina japonica* sporophytes (Phaeophyceae). *Journal of Applied Phycology*. 2012;24(5):1177-1182. DOI: 10.1007/s10811-011-9750-8

Morgan-Edel K.D., Boston P.J., Spilde M.N., Reynolds R.E. Phytoliths (plant-derived mineral bodies) as geobiological and climatic indicators in arid environments. *New Mexico Geology*. 2015;37(1):3-20.

Nawaz M.A., Zakharenko A.M., Zemchenko I.V., Haider M.S., Ali M.A., Imtiaz M. et al. Phytolith Formation in Plants: From Soil to Cell. *Plants*. 2019;8(8):E249. DOI: 10.3390/plants8080249

Parker B.C. Occurrence of silica in brown and green algae. *Canadian Journal of Botany*. 1969;47(4):537-540. DOI: 10.1139/b69-073

Piperno D.R. A comparison and differentiation of phytoliths from maize and wild grasses: Use of morphological criteria. *American Antiquity*. 1984;49(2):361-383. DOI: 10.2307/280024

Piperno D.R. Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Lanham, USA: Rowman Altamira Press; 2006.

Rao A., Berg J.K., Kellermeier M., Gebauer D. Sweet on biomineralization: effects of carbohydrates on the early stages of calcium carbonate crystallization. *European Journal of Mineralogy*. 2014;26(4):537-552. DOI: 10.1127/0935-1221/2014/0026-2379

Raven J., Giordano M. 'Biomineralization by photosynthetic organisms: Evidence of coevolution of the organisms and their environment. *Geobiology*. 2009;7(2):140-154. DOI: 10.1111/j.1472-4669.2008.00181.x

Romanenko E.A., Romanenko P.A., Babenko L.M., Kosakovskaya I.V. Salt stress effects on growth and photosynthetic pigments' content in algoculture of Acutodesmus dimorphus (Chlorophyta). *International Journal on Algae*. 2017;19(3):271-282. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v19.i3.70

Saunders G. W., Hommersand M.H. Assessing red algal supraordinal diversity and taxonomy in the context of contemporary systematic data. *American Journal of Botany*. 2004;91(10):1494-1507. DOI: 10.3732/ajb.91.10.1494

Schiegl S., Stockhammer P., Scott C., Wadley L. A mineralogical and phytolith study of the Middle Stone Age hearths in Sibudu Cave, KwaZulu-Natal, South Africa: Sibudu Cave. *South African Journal of Science*, 2004;100(3-4):185-194.

Song Z., McGrouther K., Wang H. Occurrence, turnover and carbon sequestration potential of phytoliths in terrestrial ecosystems. *Earth-Science Reviews*. 2016;158:19-30. DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.04.007

Zuccarello G.C., Schidlo N., Mcivor L., Guiry M.D. A molecular re-examination of speciation in the intertidal red alga *Mastocarpus stellatus* (Gigartinales, Rhodophyta) in Europe. *European Journal of Phycology*. 2005;40(4):337-344. DOI: 10.1080/09670260500254743

Zurro D., García-Granero J.J., Lancelotti C., Madella M. Directions in current and future phytolith research. *Journal of Archaeological Science*. 2016;68:112-117. DOI: 10.1016/j.jas.2015.11.014

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

Захаренко А.М., Наваз М.А., Чайка В.В., Земченко И.В., Орлова Т.Ю., Бегун А.А., Ромашко Р.В., Галкина А.Н., Карабцов А.А., Чанг Г., Голохваст К.С. Морфологическая характеристика биоминералов из пяти видов морских водорослей. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):117-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-117-122

Zakharenko A.M., Nawaz M.A., Chaika V.V., Zemchenko I.V., Orlova T. Yu., Begun A.A., Romashko R.V., Galkina A.N., Karabtsov A.A., Chung G., Golokhvast K.S. Morphological characterization of biominerals from five multicellular marine algae species. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):117-122. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-117-122

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/10.30901/2227-8834-2020-2-117-122

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Zakharenko A.M. https://orcid.org/0000-0002-9520-8271
Nawaz M. A. https://orcid.org/0000-0001-9901-7555
Chaika V.V. https://orcid.org/0000-0002-7499-8577
Zemchenko I.V. https://orcid.org/0000-0002-1992-8234
Orlova T.Yu. https://orcid.org/0000-0002-6985-5213
Begun A.A. https://orcid.org/0000-0002-8383-796X
Romashko R.V. https://orcid.org/0000-0003-0869-0993
Galkina A.N. https://orcid.org/0000-0002-0489-4342
Karabtsov A.A. https://orcid.org/0000-0001-7022-2942
Chung G. https://orcid.org/ 0000-0001-8053-689X
Golokhvast K.S. https://orcid.org/ 0000-0002-4873-2281

Сегетальная флора некоторых регионов России: характеристика таксономической структуры

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-123-133
УДК 581.93
Поступление/Received: 10.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

А. С. ТРЕТЬЯКОВА [1, 7]*, О. Г. БАРАНОВА [2], Н. Н. ЛУНЕВА [3], Т. А. ТЕРЕХИНА [4], С. М. ЯМАЛОВ [5], М. В. ЛЕБЕДЕВА [5], Г. Р. ХАСАНОВА [6], Н. Ю. ГРУДАНОВ [1, 7]

[1] Уральский федеральный университет, 620002 Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
** alyona.tretyakova@urfu.ru*

[2] Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, 197376 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2
OBaranova@binran.ru

[3] Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608 Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 3
natalja.luneva2010@yandex.ru

[4] Алтайский государственный университет, 656049 Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61
kafbotasu@mail.ru

[5] Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН, 450080 Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195/3
yamalovsm@mail.ru

[6] Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства УФИЦ РАН, 450059 Россия, г. Уфа ул. Рихарда Зорге, 19
gulnazrim@yandex.ru

[7] Ботанический сад УрО РАН, 620144 Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
nickolai.grudanoff@yandex.ru

Segetal flora of some regions of Russia: characteristics of the taxonomic structure

A. S. TRETYAKOVA [1, 7]*, O. G. BARANOVA [2], N. N. LUNEVA [3], T. A. TEREKHINA [4], S. M. YAMALOV [5], M. V. LEBEDEVA [5], G. R. KHASANOVA [6], N. YU. GRUDANOV [1, 7]

[1] Ural Federal University, 19 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia
** alyona.tretyakova@urfu.ru*

[2] Komarov Botanical Institute of the RAS, 2 Professora Popova Street, St. Petersburg 197376, Russia
OBaranova@binran.ru; betula_udm@mail.ru

[3] All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo Street, St. Petersburg – Pushkin 196608, Russia
natalja.luneva2010@yandex.ru

[4] Altai State University, 61 Pr. Lenina, Barnaul 656049, Russia
kafbotasu@mail.ru

[5] South-Ural Botanical Garden – Institute, UFIC RAS, 195/3 Mendeleev St., Ufa 450080, Russia
yamalovsm@mail.ru

[6] Bashkir Research Institute of Agriculture, UFIC RAS, 19 Richard Zorge St., Ufa 450059, Russia
gulnazrim@yandex.ru

[7] Botanical Garden, Ural Branch of the RAS, 202a 8 Marta St., Ekaterinburg 620144, Russia
nickolai.grudanoff@yandex.ru

В основу работы положены данные авторов по видовому составу сегетальных флор восьми регионов РФ: Ленинградской, Новгородской, Вологодской, Ростовской и Свердловской областей, Удмуртской Республики, Республики Башкортостан и Алтайского края. В состав сегетальных флор включены сорные растения агрофитоценозов яровых, озимых, пропашных культур и многолетних трав. Проведен сравнительный анализ видового состава и таксономической структуры сегетальных флор изученных регионов. Общее число сегетальных растений, отмеченных в восьми изученных регионах, составляет 686 видов. Наибольшим флористическим разнообразием отличается сегетальная флора Алтайского края, Удмуртии и Ростовской области, насчитывающая более 300 видов, а наименьшим – Вологодской области (193 вида). К числу относительно стабильных показателей систематической структуры могут быть отнесены: состав ведущих семейств (Asteraceae Dumort., Poaceae Barnhart, Fabaceae Lindl., Brassicaceae Burnet) и их доля во флоре (70–78%), состав наиболее крупных родов (*Potentilla* L., *Artemisia* L., *Veronica* L., *Chenopodium* L., *Silene* L., *Trifolium* L.), вклад одновидовых семейств (17–39%) и родов (57–74%). Только около 18% видов встречаются во всех или почти всех рассмотренных сегетальных флорах. Наи-

The authors' data on the weed species composition in 8 geographic regions of the Russian Federation were laid at the basis of this survey. The segetal flora comprised weeds of cereals, root crops, and perennial grasses. The composition and taxonomic structure of weed species were analyzed. The total number of weedy plants encompassed 686 plant species. The level of regional weed species diversity was positively related to the area planted. Altai Territory, Udmurtia, and Rostov Province had the greatest weed species diversity, with more than 300 species, while Vologda Province had the lowest diversity (193 species). Most species-rich plant families (Asteraceae Dumort., Poaceae Barnhart, Fabaceae Lindl., Brassicaceae Burnet), genera (*Potentila* L., *Artemisia* L., *Veronica* L., *Chenopodium* L., *Silene* L., *Trifolium* L.), their subsequences, contributions of single-species families (17–39%) and genera (57–74%) were relatively stable systematic structure indicators. Only 18% of the species were common for all the regions. In each region there were region-specific groups of species. Weed species compositions in geographically close regions – the European part of Russia and the Urals – showed the greatest similarity. As for geographically distant regions (Altai Territory and Rostov Province),

большее сходство видового состава обнаруживают сегетальные флоры географически близко расположенных регионов – европейской части России и Урала. Более дистанцированы сегетальные флоры географически отдаленных регионов, Алтайского края и Ростовской области, содержащие большие по объему группы дифференциальных видов – 89 и 66 видов соответственно.

Ключевые слова: сегетальные растения, видовое разнообразие, сравнительный таксономический анализ, дифференциальные виды.

their weedy species compositions were distant and contained large groups of region-specific species.

Key words: weedy plants, species diversity, comparative taxonomic analysis, differential species.

Введение

Агрофитоценозы давно изучаются геоботаниками, которые обычно не рассматривают флористический состав агрофитоценозов отдельно как флору (Terekhina, 2000). Вместе с тем постепенно в литературных источниках в России укрепляется термин «сегетальная флора», без его четкого определения. Не было дано понятие сегетальной флоры и в работе О. Г. Барановой с соавторами (Baranova et al., 2018) по терминологии, используемой в синантропной флористике. Мы пониманием под сегетальной флорой исторически сложившуюся совокупность видов сосудистых растений, произрастающих на обрабатываемых сельскохозяйственных угодьях, независимо от желания человека. При этом мы отдаем себе отчет, что в классическом понимании термина «флора» А. И. Толмачева (Tolmachev, 1974) и других флористов (Kamelin, 2017, etc.), данная флора является частью природной флоры, или парциальной флорой (Yurtsev, Kamelin, 1991), флорой сегетальных местообитаний (Baranova et al., 2018). Мы считаем правомерным данный термин, опираясь на работу Б. А. Юрцева и Р. В. Камелина, в которой указано, что «… термины “сегетальные” и “рудеральные флоры” правомерны для обозначения парциальных флор, посевов, свалок и подобных антропогенных экотопов» (Yurtsev, Kamelin, 1991, p. 58).

Разнообразие сорных растений конкретных территорий определяется комплексом природно-климатических и агроценотических факторов (температура, влажность, гетерогенность ландшафта). Например, наличие населенных пунктов и коммуникаций повышает разнообразие сегетальных растений (Lososová et al., 2004; Pyšek et al., 2005; Gaujour et al., 2012; Dąbkowska et al., 2017). Большое влияние на видовой состав сорных растений оказывают агрохимические показатели почв, такие как актуальная и гидролитическая кислотность почв, пористость аэрации и содержание гумуса, распределение элементов минерального питания, гетерогенность почвенной микрофлоры (Ahmad et al., 2016; Rauber et al., 2018).

Агроценотические факторы включают источники посевного материала, агротехнические приемы возделывания сельскохозяйственных культур, особенности севооборота, использование гербицидов и др. (Olsen et al., 2006; José-María et al., 2011; Pinke et al. 2011; Illi et al., 2013; Pal et al., 2013; de Mall et al., 2015; Khasanova et al., 2017; Khasanova et al., 2018). Показано, что в посевах злаковых культур видовое разнообразие сорных растений выше, чем в посевах пропашных культур, так как меньше нарушений в течение вегетационного периода (Lososová et al., 2004). Ротация культур будет благоприятствовать большему числу сегетальных растений, тогда как непрерывное возделывание одной культуры в одном месте способствует произрастанию лишь ограниченного числа видов сегетальных растений, которые хорошо адаптированы и к данной культуре, и к технике ее возделывания (Liebman et al., 2004).

К настоящему времени в России выполнен большой объем многолетних исследований видового состава сегетальных растений, проанализированы таксономическая и типологическая структуры сегетальных флор в целом ряде регионов. Следует отметить работы Е. В. Шляковой, Н. Н. Луневой, А. Е. Родионовой, Т. А. Палкиной и ряда других исследователей, выполненных на северо-западе и в средней полосе европейской части России (Shlyakova, 1982, etc.; Palkina, 2011, 2015, etc.). Большой цикл исследований проведен в районах Сибири и Дальнего Востока Т. Н. Ульяновой и Т. А. Терехиной (Ulyanova, 1985, 2005, etc.; Terekhina, 2000). В Предуралье и Уральском регионе исследования сегетальной флоры проведены в Республике Башкортостан под руководством Б. М. Миркина (Mirkin et al., 1985; Sleptsova, Rudakov, 1985; Khasanova et al., 2014; Khasanova et al., 2016, etc.), Удмуртской Республике – В. В. Туганаева (Tuganayev, 1971, 1977, 1984, etc.; Tuganayev, Semenova, 1993; Tuganayev et al, 2015, etc.) и Свердловской области – А. С. Третьяковой (Tretyakova, 2006; Tretyakova, Kondratkov, 2018; Kondratkov, Tretyakova, 2018, 2019, etc.). Это дает возможность проведения крупных обобщений и сравнительных исследований для понимания особенностей структуры сегетальной флоры в России.

В работе впервые представлены результаты сравнительного анализа видового состава и таксономической структуры сегетальных флор восьми регионов РФ. Анализ долготно-зональных вариантов сегетальных флор позволит выяснить ее общие черты и географические особенности, что необходимо для понимания факторов, определяющих видовое разнообразие растений в агрофитоценозах.

Материалы и методы

В основе работы – данные по сегетальным флорам восьми регионов РФ. На территории европейской части России регионы расположены в северо-западной (Ленинградская, Новгородская и Вологодская области) и южной ее частях (Ростовская область), в Предуралье и на Урале (Удмуртская Республика, Республика Башкортостан и Свердловская область) и в юго-восточной части Западной Сибири (Алтайский край). Широтный градиент охватывает таежную, лесостепную и степную природные зоны. На данном континентальном профиле четко прослеживаются широтные и долготные градиенты ландшафтно-климатических условий (табл. 1).

Таблица 1. **Характеристика территорий сравниваемых сегетальных флор**
Table 1. **Characteristics of the territories of the compared segetal floras**

Основные параметры / Main parameters	ЛО / LP	НО / NP	ВО / VP	УР / UR	РБ / RB	СО / SP	РО / RP	АК / AT
Сумма температур выше 10°С на северной границе региона / Sum of temperatures above 10° C on the northern border of the region	1848	2052	1813	1889	2068	1380	3011	1546
Сумма температур выше 10°С на южной границе региона / Sum of temperatures above 10° C on the southern border of the region	2041	2063	1967	2301	2393	1985	3639	1021
ГТК на северной границе / Hydrothermal coefficient on the northern border of the region	1,83	1,75	1,71	1,59	1,43	2,02	0,85	3,27
ГТК на южной границе / Hydrothermal coefficient on the southern border of the region	1,75	1,82	1,68	1,12	0,85	1,49	0,74	2,94
Численность населения, чел. / Population, people	1813816	606476	1176689	1513044	4063293	4325256	4220452	2350080
Плотность населения, чел./км^2 / Population density, people/km^2	21,62	11,13	8,14	35,97	28,43	22,26	41,8	13,99
Площадь региона, км^2 / Region area, km^2	83908	54501	144527	42061	142947	194307	100967	167996
Площадь посевов, км^2 / Crop area, km^2	2299	1785	3724	10289	36367	8988	44678	53943
Доля посевных площадей от общей площади региона, % / The share of crop area in the total area of the region, %	2,7	3,3	2,6	24,5	25,4	4,6	44,5	32,1
Общее видовое богатство региональной флоры, количество видов / Total number of species in the regional flora, spp.	2580	1177	1022	2073	1700	1700	–	2264

Примечание (здесь и далее условное обозначение регионов): Регион: ЛО – Ленинградская область; НО – Новгородская область; ВО – Вологодская область; СО – Свердловская область; РО – Ростовская область; УР – Удмуртская Республика; РБ – Республика Башкортостан; АК – Алтайский край.
Note (hereinafter, the symbol of a region): Region: LP – Leningrad Province; NP – Novgorod Province; VP – Vologda Province; UR – Udmurt Republic; RB – Republic of Bashkortostan; SP – Sverdlovsk Province; RP – Rostov Province; AT – Altai Territory.

В нашей работе мы, вслед за О. Г. Барановой с соавторами (Baranova et al., 2018), под сегетальными растениями (сорными) понимаем растения, специально не культивируемые, но приспособленные к произрастанию на сельскохозяйственных угодьях и снижающие величину и качество продукции культурных растений. При этом термины «сорные» и «сегетальные» растения нами рассматриваются в качестве синонимов. Тем более Т. Н. Ульянова, давая определение этой группе растений, объединяет эти два термина: «… сегетальные сорные растения – это растения, эволюционно приспособившиеся к произрастанию на пашне, среди культивируемых растений» (Ulyanova, 2005, с. 29.). Соответственно, флору сорных растений мы рассматриваем как сегетальную флору.

Видовой состав сорных растений выявляли методом маршрутных учетов. Маршрутами была охвачена вся территория рассматриваемых регионов, где имеются посевные площади. Кроме того, были изучены гербарные материалы, хранящиеся в разных регионах России: гербарные коллекции сорных растений Всероссийского института защиты растений, Ботанического института им. В.Л. Комарова (LE), Удмуртского государственного университета (UDU), Уральского феде-

рального университета (UFU), Южно-Уральского ботанического сада-института, Алтайского государственного университета (ALTB).

В состав сегетальной флоры включены сорные растения агрофитоценозов яровых, озимых, пропашных культур и многолетних трав. Нами исключены из анализа архаичные сорные растения, в настоящее время не встречающиеся в посевах, например, *Agrostemma githago* L., *Vaccaria hispanica* (Mill.) Rauschert. Для возможности проведения сравнительного анализа объем семейств принят по системе А. Л. Тахтаджяна (Takhtajan, 1987). Латинские названия приведены в соответствии с Международным указателем научных названий растений (International Plant Names Index; The Plant List). Таксономическая структура сегетальной флоры проанализирована без выделения аборигенной и чужеродной фракций.

Рассмотрены показатели таксономического богатства (общее число видов, родов и семейств), состав и последовательность расположения семейств по числу видов, а также родов по числу видов, рассчитаны основные показатели систематического разнообразия.

Для сравнительной оценки видового богатства сегетальных флор мы использовали девять биогеографических характеристик (табл. 1). **Характеристики климата:** сумма активных температур (выше 10°C) на северной и южной границах региона; гидротермический коэффициент (ГТК) на северной и южной границах региона. Климатические показатели взяты из базы данных WorldClim (Fick, Hijmans, 2017). Использован гидротермический коэффициент Селянинова, определяющийся как ГТК = R × 10 / Σt, где R – сумма осадков (мм) за период с температурами выше +10°C, Σt – сумма температур (°C) за этот же период. **Характеристики антропогенного воздействия:** численность населения (чел.), плотность населения (чел./км^2), площадь региона (км^2), площадь посевов (км^2) и доля посевных площадей от общей площади региона. Численность населения приведена по данным Федеральной службы государственной статистики на период 1.01.2018 (Federal State Statistic Service). Площади посевных площадей в регионе взяты по данным Сельхозпортала (Agricultural Portal, 2016–2020).

Общее видовое богатство региональной флоры, представленной аборигенными и чужеродными видами растений, взято из имеющихся литературных данных по Ленинградской (Tzvelev, 2000), Новгородской (Cadaster..., 2009), Вологодской (Orlova, 1993; Shipilina, 2018) и Свердловской областям, Удмуртской Республике (Baranova, Puzyrev, 2012), Республике Башкортостан (Naumova et al., 2011) и Алтайскому краю (Silantyeva, 2013).

Для оценки сходства видового состава сегетальной флоры использован стандартный в сравнительной флористике коэффициент сходства Жаккара (Shmidt, 1984). Сходство видового состава изученных сегетальных флор изучено с помощью кластерного анализа, проведенного в программе STATISTICA 6.0, с использованием метода Варда и евклидова расстояния.

Результаты и их обсуждение

Общее число сегетальных растений, отмеченных в восьми сравниваемых сегетальных флорах, составляет 686 видов из 304 родов и 61 семейства. Наименьший показатель флористического богатства отмечен для сегетальной флоры Вологодской области – 193 вида, тогда как для Алтайского края он почти в два раза выше – 372 (табл. 2). Уровень таксономического богатства сегетальной флоры Ленинградской, Новгородской, Свердловской областей приблизительно одина-

Таблица 2. Показатели видового богатства и систематического разнообразия сравниваемых сегетальных флор

Table 2. Indicators of the richness in species, and systematic diversity of the compared segetal floras

Основные параметры / Main parameters	ЛО / LP	НО / NP	ВО / VP	УР / UR	РБ / RB	СО / SP	РО / RP	АК / AT
Число видов / Number of species	273	245	193	338	279	253	320	372
Число родов / Number of genera	147	138	129	200	169	157	192	209
Число семейств / Number of families	35	33	29	48	35	39	44	47
в/с / s/f	7,8	7,4	6,7	7,0	8,0	6,5	7,3	7,9
в/р / s/g	1,9	1,8	1,5	1,7	1,7	1,6	1,7	1,8
р/с / g/f	4,2	4,2	4,4	4,2	4,8	4,0	4,4	4,4

Примечание: в/с – показатель видовой насыщенности семейств; в/р – показатель видовой насыщенности родов; р/с – показатель родовой насыщенности семейств;
ЛО, НО, ВО, УР, РБ, СО, РО, АК – см. примечание к таблице 1
Note: s/f – index for the number of species within families; s/g – index for the number of species within genera; g/f – index for the number of genera within families;
LP, NP, VP, UR, RB, SP, RP, AT – see Note to Table 1

ков. Наиболее богатыми по числу родов и семейств являются сегетальные флоры Удмуртии, Ростовской области и Алтайского края (см. табл. 2).

В составе сегетальной флоры представлено только два отдела сосудистых растений: Equisetophyta и Magnoliophyta; к последнему относится основная масса сегетальных растений (до 99%). Отдел Equisetophyta представлен одним семейством Equisetaceae и одним родом *Equisetum* L. В северных сравниваемых флорах семейство Equisetaceae Rich. ex DC. насчитывает от трех до шести видов, доля которых составляет от 1 до 2%. К югу роль этого семейства снижается, и в сегетальных флорах Башкирии и Алтайского края семейство представлено двумя видами, а в сегетальной флоре Ростовской области только одним – *Equisetum arvense* L. (0,3%).

Крупнейшими семействами почти во всех сравниваемых флорах являются Asteraceae Dumort., Poaceae Barnhart, Fabaceae Lindl. и Brassicaceae Burnet (табл. 3). Исключение составляет спектр сегетальной флоры Ростовской области, расположенной в степной зоне, где третье место занимает семейство Scrophulariaceae Juss. Почти половина семейственно-видовых спектров сегетальной флоры характеризуется южным, аридным Ast–Poa–Fab-типом, или средиземноморско-центрально-азиатским по А. П. Хохрякову (Khokhryakov, 2000). К этому типу относятся сегетальные флоры Свердловской области, Удмуртии и Алтайского края. На четвертом месте в их спектре располагается семейство Brassicaceae. Второй вариант – это флора Ast–Poa–Bra-типа, отмеченного для сегетальной флоры Новгородской

Таблица 3. Ведущие семейства по числу видов в сравниваемых сегетальных флорах
Table 3. Plant families with the largest number of species in the compared segetal floras

Семейство / Families	**ЛО / LP**	**НО / NP**	**ВО / VP**	**УР / UR**	**РБ / RB**	**СО / SP**	**РО / RP**	**АК / AT**
Asteraceae Dumort.	47/1	40/1	32/1	50/1	50/1	39/1	63/1	65/1
Poaceae Barnhart	30/2	35/2	31/2	37/2	25/3–4	36/2	49/2	40/2
Brassicaceae Burnett	20/3	20/3	16/3–4	27/4	25/3–4	21/4	20/4	30/4
Fabaceae Lindl.	19/4	19/4	16/3–4	31/3	26/2	25/3	16/6–7	35/3
Caryophyllaceae Juss.	15/5	12/6–7	11/6–7	20/5	16/7	14/5	6/10	13/7–9
Scrophulariaceae Juss.	14/6	9/9–10	11/6–7	17/7–8	12/8–9	8/9–10	24/3	12/10
Polygonaceae Juss.	13/7	13/5	10/8	18/6	10/10–12	13/6–7	9/8–9	13/7–9
Lamiaceae Lindl.	12/8	12/6–7	12/5	17/7–8	19/5	13/6–7	19/5	22/5–6
Apiaceae Lindl.	11/9	8/11	5/10	10/10–11	10/10–12	8/9–10	5/11–13	13/7–9
Rosaceae Juss.	9/10–12	5/14	3/12	14/9	12/8–9	12/8	3/15	10/12
Boraginaceae Juss.	9/10–12	11/8	4/11	10/10–11	10/10–12	6/11	16/6–7	11/11
Chenopodiaceae Vent.	9/10–12	9/9–10	7/9	8/12	17/6	5/12	9/8–9	22/5–6
Всего, в 10 ведущих семействах, абс. (%) / Total for 10 leading families, abs. (%)	190 (69,6)	180 (73,5)	151 (78,2)	241 (71,3)	212 (76,0)	189 (74,7)	231 (72,2)	265 (71,2)

Примечание. В числителе указано абсолютное число видов в семействе, в знаменателе – ранг семейства в спектре
Note. The numerator indicates the absolute number of species in the family; the denominator indicates the rank of the family in the spectrum

и Ленинградской областей. Соответственно, на четвертом месте в этих сегетальных флорах располагается семейство Fabaceae. В спектре флоры Вологодской области роль семейств Brassicaceae и Fabaceae одинакова, тогда как в сегетальной флоре Башкирии роль семейства Fabaceae выше, чем в спектрах всех остальных сравниваемых флор, и оно выходит на второе место.

Замыкают головную часть семейственно-видовых спектров сравниваемых сегетальных флор семейства Caryophyllaceae Juss., Chenopodiaceae Vent., Lamiaceae Lindl., Polygonaceae Juss., Rosaceae Juss., Boraginaceae Juss., Apiaceae Lindl. и Scrophulariaceae. Среди них положение Caryophyllaceae, Lamiaceae, Polygonaceae, Rosaceae относительно стабильно. Термофильное семейство Chenopodiaceae играет более высокую роль в сегетальных флорах Башкирии и Алтайского края, в северном направлении его роль снижается и оно чаще всего не входит в ведущую десятку (см. табл. 3).

Таким образом, сегетальная флора далеких в географическом отношении регионов имеет сходную структуру головной части семейственно-видового спектра. Постоянство состава ведущих семейств по числу видов отражает эколого-ценотические особенности сегетальной флоры.

В рассмотренных сегетальных флорах на долю десяти ведущих семейств приходится около 70–78% видового состава (см. табл. 3). Неоднократно было показано, что флоры антропогенно нарушенных территорий характеризуются высоким процентом видов в ведущих семействах, то есть наиболее крупные семейства содержат большую часть видов таких флор.

Для сегетальных флор характерно высокое число одновидовых семейств: от 17% в сегетальной флоре Ленинградской области до 39% в сегетальной флоре Удмуртии. В свою очередь, показатель видовой насыщенности семейства увеличивается с 6,5 в сегетальной флоре Свердловской области до 7,9 и 8,0 в сегетальных флорах Алтайского края и Башкирии соответственно. Поскольку в составе сравниваемых сегетальных флор большое количество семейств представлены одним родом, средняя родовая насыщенность семейств относительно невелика – 4,2–4,8 (см. табл. 2).

Наиболее крупными родами в сегетальных флорах являются роды *Potentilla* L., *Veronica* L., *Artemisia* L., *Chenopodium* L., *Silene* L., *Trifolium* L., *Galium* L., *Rumex* L., и *Vicia* L. Максимальное количество видов рода *Potentilla* имеется в сегетальной флоре Алтайского края – 9 видов. В большинстве других регионов – 5–7 видов, нет представителей этого рода только среди сорных растений Ростовской области.

Род *Veronica* входит в число ведущих родов в сегетальных флорах большинства сравниваемых регионов, за исключением Алтайского края. Его максимальное видовое разнообразие в сегетальной флоре Ростовской области – 10 видов, в результате чего обеспечиваются высокие позиции семейства Scrophulariaceae в семейственно-видовом спектре. Род *Artemisia* лучше представлен в азиатской части России – 10 видов в сегетальной флоре Алтайского края. В Башкирии род насчитывает 6 видов, в Свердловской и Ленинградской областях – по 4, а в других регионах – только 1-2 вида.

Род *Chenopodium* представлен в сегетальной флоре Алтайского края максимальным числом видов – 10. В северных регионах видовое разнообразие рода резко снижается: так, в сегетальных флорах Свердловской и Вологодской областей – всего 3 вида. Род *Silene* в сегетальных флорах Удмуртии и Башкирии насчитывает по 8 видов, в Алтайском крае – 6, Свердловской, Ленинградской и Новгородской областей – по 4. Беднее всего этот род представлен в сегетальных флорах Вологодской (3 вида) и Ростовской (1) областей. Род *Trifolium* в сравниваемых флорах имеет по 6 видов; исключение составляют сегетальные флоры Удмуртии, где насчитывается 8 видов этого рода, и Ростовской области – 3.

В состав родового спектра флор включены роды *Galium*, *Rumex* и *Vicia*. Представителей рода *Vicia* больше в сегетальной флоре Свердловской области (8 видов), а меньше – во флоре Ростовской области (2). Род *Rumex* в большинстве сравниваемых сегетальных флор представлен 4–5 видами, в сегетальной флоре Удмуртии отмечено 8 видов рода, а в сегетальных флорах Вологодской и Ростовской областей – по 3 вида.

В региональных сегетальных флорах имеются специфические многовидовые роды. Например, в сегетальной флоре Алтайского края максимальное видовое разнообразие отмечено у родов *Elymus* L. (5 видов) и *Salvia* L. (4). В сегетальной флоре Ростовской области в состав ведущих входят роды *Bromus* L. (7 видов), *Verbascum* L. (6) и *Cuscuta* (5). Многовидовым родом сегетальной флоры Удмуртии является род *Epilobium* L. (7 видов).

Примерно две трети родов (57–74%), входящих в состав сравниваемых сегетальных флор, одновидовые. По числу одновидовых родов на первом месте располагается сегетальная флора Вологодской области (74%), на втором – Свердловской области, Башкирии и Удмуртии (67–69%). В сегетальной флоре Ростовской и Ленинградской областей доля одновидовых родов снижается до 57–59%. Это обеспечивает низкие показатели видовой насыщенности рода, которые меняются от 1,5 в сегетальной флоре Вологодской области до 1,9 в сегетальной флоре Ленинградской области (см. табл. 2), и характеризует сегетальную флору как флору антропогенно нарушенных местообитаний.

Группа общераспространенных видов крайне малочисленна: 73 вида (10,6%) встречаются во всех сравниваемых сегетальных флорах. В сегетальной флоре Вологодской области доля общераспространенных видов достигает 38%. В сегетальных флорах других регионов вклад этой группы видов снижается. Например, в сегетальной флоре Свердловской, Новгородской и Ленинградской областей их доля составляет около 30%. В сегетальной флоре Алтайского края вклад группы общих видов минимальный – только 20%.

Среди них 37 видов – это широкоареальные аборигенные виды, повсеместно представляющие апофитный элемент флоры: *Achillea millefolium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Stellaria media* (L.) Vill., *Equisetum arvense*, *Elymus repens* (L.) Gould, *Phleum pretense* L., *Rumex crispus* L., *Linaria vulgaris* Mill. и др.

Археофитами являются 30 видов: *Cyanus segetum* Hill, *Sonchus arvensis* L., *S. asper* (L.) Hill, *S. oleraceus* (L.) L., *Convolvulus arvensis* L., *Fumaria officinalis* L., *Galeopsis bifida* Boenn., *G. ladanum* L., *Avena fatua* L., *Sinapis arvensis* L., *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve и другие. Это виды, широко расселившиеся в европейской части континента до XV в. По происхождению они связаны с районами средиземноморского бассейна и юго-восточными европейскими степями и являются типичными сорными растениями пахотных земель (Pyšek et al., 2005; Ricotta et al., 2012). Шесть видов отнесены к группе неофитов: три

вида имеют американское происхождение (*Amaranthus retroflexus* L., *Erigeron Canadensis* L., *Matricaria discoidea* DC.) и три вида – европейское (*Bunias orientalis* L., *Melilotus albus* Medik., *Melilotus officinalis* (L.) Pall.).

Альтернативную группу образуют дифференциальные сегетальные растения, отмеченные в сегетальной флоре только одного региона. Наибольшее число их отмечено в сегетальной флоре Алтайского края – 89 видов, что составляет 24% ее видового состава. Среди них 61 аборигенный вид. Часть из них – это аборигенные виды с азиатским ареалом, не встречающиеся на Урале и в европейской части России: *Vincetoxicum sibiricum* Decne., *Leptopyrum fumarioides* (L.) Rchb., *Erodium stephanianum* Willd., *Nepeta sibirica* L. *Plumbagella micrantha* (Ledeb.) Spach, *Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schltdl. и другие. Некоторые виды имеют более широкий ареал, но отмечены в составе агрофитоценозов, только в Алтайском крае, например, *Achillea asiatica* Serg., *Impatiens noli-tangere* L., *Campanula sibirica* L., *Scabiosa ochroleuca* L., *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Trifolium lupinaster* L., *Dracocephalum ruyschiana* L., *Androsace maxima* L., *Polygala sibirica* L. и другие.

В этой группе чужеродные растения представлены 28 видами. Например, исключительно в сегетальной флоре Алтайского края встречаются такие чужеродные виды, как *Sphallerocarpus gracilis* (Besser ex Trevir.) Koso-Pol., *Centaurea virgata* subsp. *squarrosa* (Boiss.) Gugler, *Convolvulus chinensis* Ker. Gawl., *Eriochloa villosa* (Thunb.) Kunth и другие.

Наличие большого числа дифференциальных видов в сегетальной флоре Алтайского края можно объяснить его географическим положением: регион расположен в отрыве от других изученных сегетальных флор, в юго-восточной части Западной Сибири, в пределах лесостепной и степной зон.

На втором месте по числу дифференциальных видов – сегетальная флора Ростовской области (66 видов, или 20%). Большая часть из них (38 видов) – аборигенные растения и 28 чужеродных видов для региона. Высокую специфичность видового состава сегетальной флоры Ростовской области также можно объяснить географическим положением региона – это единственный регион, расположенный целиком в степной зоне. Дифференциальными аборигенными для сегетальной флоры Ростовской области являются степные виды (*Anthemis ruthenica* M. Bieb., *Carduus hamulosus* Ehrh., *Nonea lutea* (Desr.) DC., *Cynodon dactylon* (L.) Pers.), к чужеродным южноевропейским относятся *Humulus scandens* (Lour.) Merr., *Anthemis cotula* L., *Ajuga chamaepitys* subsp. *chia* (Schreb.) Arcang., *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv., *Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch. и другие.

В других регионах дифференциальных сегетальных видов меньше. В сегетальной флоре Башкирии – 32 дифференциальных вида: 28 аборигенных (*Eryngium planum* L., *Geranium pseudosibiricum* J. Mayer, *Gypsophila altissima* L., *Sedum telephium* L. и другие) и 4 чужеродных (*Alyssum turkestanicum* Regel & Schmalh., *Lepidium latifolium* L., *Salsola collina* Pall., *Triticum durum* Desf.).

Специфичный компонент сегетальной флоры Удмуртии представлен 25 видами. Среди них – 19 аборигенных видов (*Corydalis capnoides* (L.) Pers., *Euphrasia brevipila* Burn. et Gremli, *Gagea lutea* (L.) Ker Gawl., *G. minima* (L.) Ker Gawl. и другие) и 6 чужеродных видов (*Helianthus subcanescens* (A. Gray) E.E. Wats., *Hesperis pycnotricha* Borb. et Degen, *Onobrychis viciifolia* Scop., *Epilobium pseudorubescens* A. Skvortz., *Veronica opaca* Fr., *Solanum physalifolium* Rusby).

Дифференциальными видами для агрофитоценозов Свердловской области являются 13 видов: 11 аборигенных (*Saussurea parviflora* (Poir.) DC., *Adenophora lilifolia* (L.) A. DC., *Campanula cervicaria* L., *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald, *Phleum phleoides* (L.) H. Karst. и другие) и два чужеродных (*Vicia faba* L., *Puccinellia hauptiana* (Krecz.) Kitag.).

Также малочисленна группа дифференциальных видов в сегетальной флоре Ленинградской области – 13 видов. Среди них – 9 аборигенных видов как имеющих ограниченный ареал, например, европейские – *Aethusa cynapium* L., *Campanula persicifolia* L., так и широкоареальных, например, голарктический вид – *Luzula pilosa* (L.) Willd. и евразиатский – *Viola canina* L. Группа чужеродных растений представлена 4 видами: *Bidens frondosa* L. и *Lepidium bonariense* L. (американские), *Tragopogon tanaiticus* Artemczuk. и *Lathyrus hirsutus* L. (южно-европейские).

Сегетальные флоры Новгородской и Вологодской областей отличает минимальное число дифференциальных видов. В сегетальной флоре Новгородской области это аборигенный вид – *Carex praecox* Schreb. – и чужеродный североамериканский – *Juncus tenuis* Willd. В сегетальной флоре Вологодской области 2 специфичных аборигенных вида – *Succisa pratensis* Moench, *Trifolium campestre* Schreb. и чужеродный европейский – *Avena strigosa* Schreb.

Таким образом, специфичность части аборигенных сорных видов связана с их географическим распространением. Среди дифференциальных чужеродных видов представлены исключительно неофиты. Их встречаемость определяется как географическими факторами, так и антропогенными, например, источниками заноса, торгово-экономическими связями регионов.

Наиболее близки по видовому составу сегетальные флоры географически близко расположенных регионов (достоверная корреляция коэффициентов видового сходства и расстояния между исследуемыми регионами $r^2 = 0,5$). Наибольшее сходство выявлено между сегетальными флорами северо-запада европейской части России (Ленинградской, Новгородской и Вологодской областей, $K_j = 0,57–0,67$), а также Урала и Предуралья (Удмуртии и Свердловской области, $K_j = 0,56$). Максимально дистанцированы сегетальные флоры Алтайского края и Ростовской области – коэффициент видового сходства не превышает 0,4 (рисунок).

Заключение

Таким образом, общее число сегетальных растений, отмеченных в восьми изученных регионах, составляет 686 видов. Уровень регионального видового разнообразия сегетальной флоры положительно связан с площадью посевов. Наибольшим флористическим разнообразием (320–372 вида) отличаются сегетальные флоры Алтайского края, Удмуртии и Ростовской области, а наименьшим – Вологодской области (193 вида). Систематическая структура сравниваемых сегетальных флор относительно стабильна, что связано с их экологическими особенностями (приуроченность к нарушенным местообитаниям и пр.). В частности, наиболее крупными семействами сравниваемых сегетальных флор являются Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Brassica-

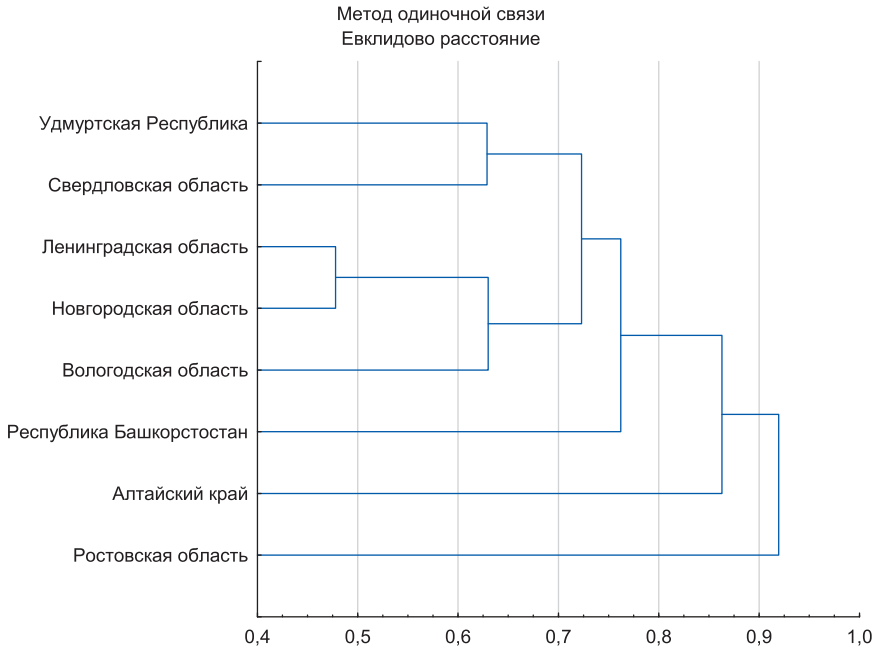


Рисунок. Кладограмма сходства видового состава сегетальной флоры 8 административных регионов РФ

Figure. A cladogram of similarities in the species composition of the segetal floras across 8 administrative regions of Russia

ceae, родами – *Potentilla*, *Veronica*, *Artemisia*, *Chenopodium*, *Silene*, *Trifolium*, *Galium*, *Rumex* и *Vicia*. Сегетальные флоры характеризуется высоким вкладом ведущих семейств (70–78%) и одновидовых родов (57–74%).

Видовой состав сегетальных флор определяется их долготно-зональным положением. Наибольшее сходство видового состава обнаруживают сегетальные флоры географически близко расположенных регионов – европейской части России и Урала. Более дистанцированы сегетальные флоры географически отдаленных регионов – Алтайского края и Ростовской области, содержащие большие по объему группы дифференциальных видов – 89 и 66 видов соответственно.

На наш взгляд, практическая значимость результатов сравнительных флористических исследований сегетальной флоры регионов заключается в возможности прогнозирования видового состава сорных растений в агрофитоценозах, что является основой дифференцированного подхода к разработке региональных стратегий защиты возделываемых растений от отрицательного воздействия сорных растений.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 17-44-020402 р_а, № 19-016-00135), средств государственного бюджета (№ АААА-А18-118011990151-7) в рамках реализации государственного задания по теме: «Сосудистые растения Евразии: систематика, флора, растительные ресурсы» (№: АААА-А19-119031290052-1) и программы повышения конкурентоспособности УрФУ (постановление Правительства РФ № 211, контракт № 02. А03.21.0006).

This work was supported in part by the Russian Foundation for Basic Research (projects 17-44-020402 p_a, 19-016-00135), state budget funds (AAAA-A18-118011990151-7), and as part of the implementation of the state task on the topic: "Vascular plants of Eurasia: taxonomy, flora, plant resources" (AAAA-A19-119031290052-1).

References/Литература

Agricultural Portal (Selkhozportal). 2016–2020. [in Russian] (Сельхозпортал. 2016–2020). URL: https://сельхозпортал.рф [дата обращения: 16.04.2018].

Ahmad Z., Khan S.M., Abd-Allah E.F., Alqarawi A.A., Hashem A. Weed species composition and distribution pattern in the maize crop under the influence of edaphic factors and farming practices: A case study from Mardan, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2016;23(6):741-748. DOI: 10.1016/j.sjbs.2016.07.001

Baranova O.G., Puzyrev A.N. *Conspectus florae* of the Udmurt Republic (vascular plants) (Konspekt flory Udmurtskoy respubliki [sosudistye rasteniya]). Izhevsk: Institute of Computer-Aided Research; 2012. [in Russian] (Баранова О.Г., Пузырев А.Н. Конспект флоры Удмуртской Республики (сосудистые растения). Ижевск: Институт компьютерных исследований; 2012).

Baranova O.G., Shcherbakov A.V., Senator S.A., Panasenko N.N., Sagalayev V.A., Saksonov S.V. The main terms and concepts used in the study of alien and synanthropic flora. *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2018;12(4):4-22. [in Russian] (Баранова О.Г., Щербаков А.В., Сенатор С.А., Панасенко Н.Н., Сагалаев В.А., Саксонов С.В. Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры. *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2018;12(4):4-22). DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10031

Cadaster of the flora in Novgorod Province (Kadastr flory Novgorodskoy oblasti). Novgorod-the-Great: Lema; 2008. (Кадастр флоры Новгородской области. Великий Новгород: Лема; 2008).

Dąbkowska T., Grabowska-Orządała M., Łabza T. The study of the transformation of segetal flora richness and diversity in selected habitats of southern Poland over a 20-year interval. *Acta Agrobotanica*; 2017;70(2):1712. DOI: 10.5586/aa.1712

De Mol F., von Redwitz C., Gerowitt B. Weed species composition of maize fields in Germany is influenced by site and crop sequence. *Weed Research;* 2015;55(6):574-585. DOI: 10.1111/wre.12169

Federal State Statistic Service. [in Russian] (Федеральная служба государственной статистики). URL: https://www.gks.ru/compendium/document/13282 [дата обращения: 16.04.2018].

Fick S.E., Hijmans R.J. Worldclim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*; 2017;37(12):4302-4315. DOI: 10.1002/joc.5086

Gaujour E., Amiaud B., Mignolet C., Plantureux S. Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 2012;32(1):133-160. DOI: 10.1007/s13593-011-0015-3

Illi I.E., Takalandze G.O., Illi A.I. The elimination of weed plants from agrocenoses in conditions of adaptive landscape agriculture in Irkutsk Oblast. *Scholarly Notes of Transbaikal State University.* 2013;1(48):96-101. [in Russian] (Илли И.Э., Такаландзе Г.О., Илли А.И. Элиминация сорных растений из агроценозов в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия Иркутской области. *Ученые записки Забайкальского государственного университета*. 2013;1(48):96-101).

International Plant Names Index (IPNI). The Royal Botanic Gardens, Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens. URL: http://www.ipni.org [accessed Sept. 30, 2019].

José-María L., Blanco-Moreno J.M., Armengot L.A., Sans F.X. How does agricultural intensification modulate changes in plant community composition? *Agriculture, Ecosystems and Environment*; 2011;145(1):77-84. DOI: 10.1016/j.agee.2010.12.020

Kamelin R.V. Flora of the North of European Russia (in comparison with the neighboring territories): A manual (Flora Severa Yevropeyskoy Rossii [v sravnenii s blizlezhashchimi territoriyami]: Uchebnoye posobiye). St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2017. [in Russian] (Камелин Р.В. Флора Севера Европейской России (в сравнении с близлежащими территориями): Учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ; 2017).

Khasanova G.R., Golovanov Y.M., Yamalov S.M. Dynamics of the taxonomic specter of segetal flora of South Urals (Dinamika taksonomicheskogo spektra segetalnoy flory Yuzhnogo Urala). *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = News of Orenburg State Agrarian University*. 2016;1:133-135. [in Russian] (Хасанова Г.Р., Голованов Я.М., Ямалов С.М. Динамика таксономического спектра сегетальной флоры Южного Урала. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016;1:133-135).

Khasanova G.R., Lebedeva M.V., Mirkin B.M., Naumova L.G. Consequences of advances in agricultural technologies for the distribution of segetal plant communities and species in the Republic of Bashkortostan. *Russian Journal of Ecology*. 2017;48(5):491-494. DOI: 10.1134/S106741361705006X

Khasanova G.R., Yamalov S.M., Davletshin F.M., Safin H.M., Lebedeva M.V., Ayupov D.S. Weed distribution zones on arable lands of the Republic of Bashkortostan and control measures (production recommendations). (Zony rasprostraneniya sornyakov na pakhotnykh zemlyakh Respubliki Bashkortostan i mery borby s nimi [rekomendatsii proizvodstvu]). Ufa: Mir pechati; 2018. [in Russian] (Хасанова Г.Р., Ямалов С.М., Давлетшин Ф.М., Сафин Х.М., Лебедева М.В., Аюпов Д.С. Зоны распространения сорняков на пахотных землях Республики Башкортостан и меры борьбы с ними (рекомендации производству). Уфа: Мир печати; 2018).

Khasanova G.R., Yamalov S.M., Korchev V.V. The floristic composition of the Southern Urals segetal communities. *Vestnik. Bashkir State Agrarian University*. 2014;2(30):38-41. [in Russian] (Хасанова Г.Р., Ямалов С.М., Корчев В.В. Флористический состав сегетальных сообществ Республики Башкортостан. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2014;2(30):38-41).

Khokhryakov A.P. Taxonomic spectra and their role in comparative floristry (Taksonomicheskiye spektry i ikh rol v sravnitelnoy floristike). *Botanicheskii zhurnal = Botanical journal*. 2000;85(5):1-11. [in Russian] (Хохряков А.П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике. *Ботанический журнал;* 2000;85(5):1-11).

Kondratkov P.V., Tretyakova A.S. Segetal flora of Sverdlovsk region. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal.* 2019;3(31):26-37. [in Russian] (Кондратков П.В., Третьякова А.С. Сегетальная флора Свердловской области. *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал*. 2019;3(31):26-37). DOI: 10.32516/2303-9922.2019.31.3

Kondratkov P.V., Tretyakova A.S. Taxonomical and biological structure of the segetal flora in Sverdlovsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018;3(170):29-37. [in Russian] (Кондратков П.В., Третьякова А.С. Таксономическая и биоэкологическая структура сегетальной флоры Свердловской области. *Аграрный вестник Урала*. 2018;3(170):29-37).

Liebman M., Mohler C.L., Staver C. Weed evolution and community structure. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.

Lososová Z., Chytrý M., Cimalová S., Kropáč Z., Otýpková Z., Pyšek P. et al., Weed vegetation of arable land in Central Europe: Gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science*. 2004;15(3):415-422. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2004.tb02279.x

Mirkin B.M., Abramova L.M., Ishbirdin A.R., Rudakov K.M., Khaziyev F.KH. Segetal communities of Bashkiria (Segetalnye soobshchestva Bashkirii). Ufa: BFAN SSSR; 1985. [in Russian] (Миркин Б.М., Абрамова Л.М., Ишбирдин А.Р., Рудаков К.М., Хазиев Ф.Х. Сегетальные сообщества Башкирии. Уфа: БФАН СССР; 1985).

Naumova L.G., Mirkin B.M., Muldashev A.A., Martynenko V.B., Yamalov S.M. Flora and vegetation of Bashkortostan: A manual (Flora i rastitelnost Bashkortostana: uchebnoye posobiye). Ufa: BGPU Publ.; 2011. [in Russian] (Наумова Л.Г., Миркин Б.М., Мулдашев А.А., Мартыненко В.Б., Ямалов С.М. Флора и растительность Башкортостана: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ; 2011).

Olsen J., Kristensen L., Weiner J. Influence of sowing density and spatial pattern of spring wheat (*Triticum aestivum*) on the suppression of different weed species. *Weed Biology and Management*. 2006;6(3):165-173. DOI: 10.1111/j.1445-6664.2006.00210.x

Orlova N.I. Conspectus florae of Vologda Province. Higher plants (Konspekt flory Vologodskoy oblasti. Vysshiye rasteniya). *Trudy Sankt-Peterburgskogo obshchestva yestestvoispytateley = Proceedings of Saint Petersburg Society of Naturalists*. 1993;77(3):1-261. [in Russian] (Орлова Н.И. Конспект флоры Вологодской области. Высшие растения. *Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей*. 1993;77(3):1-261).

Pal R.W., Pinke G., Botta-Dukát Z., Campetella G., Bartha S., Kalocsai R. et al. Can management intensity be more important than environmental factors? A case study along an extreme elevation gradient from Central Italian cereal fields. *Plant Biosystems*. 2013;147(2):343-353. DOI: 10.1080/11263504.2012.753485

Palkina T.A. The segetal flora structure in Ryazan oblast. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev.* 2015;3(27):26-32. [in Russian] (Палкина Т.А. Структура сегетальной флоры Рязанской области. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2015;3(27):26-32).

Palkina T.A. Trends of dynamics of segetal flora of the Ryazan region. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev.* 2011;4(12):15-19. [in Russian] (Палкина Т.А. Тенденции динамики сегетальной флоры Рязанской области. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2011;4(12):15-19).

Pinke G., Pál R., Tóth K., Karácsony P., Czúcz B., Botta-Dukát Z. Weed vegetation of poppy (*Papaver somniferum*) fields in Hungary: effects of management and environmental factors on species composition. *Weed Research*; 2011;51(6):621-630. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00885.x

Pyšek P., Jarošík V., Chytrý M., Kropác Z., Tichý L., Wild J. Alien plants in temperate weed communities: prehistoric and recent invaders occupy different habitats. *Ecology*. 2005;86(3): 772-785. DOI: 10.1890/04-0012

Rauber R.B., Demaría M.R., Jobbágy E.G., Arroyo D.N., Poggio S.L. Weed communities in semiarid rainfed croplands of Central Argentina: comparison between corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) crops. *Weed Science*. 2018;66(3):368-378. DOI: 10.1017/wsc.2017.76

Ricotta C., La Sorte F.A., Pyšek P., Rapson G.L. Celesti-Grapow L., Thompson K. Phylogenetic beta diversity of native and alien species in European urban floras. *Global Ecology and Biogeography*. 2012;21(7):751-759. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00715.x

Shipilina L.Yu. Crop wild relatives in Vologda Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):49-59. [in Russian] (Шипилина Л.Ю. Дикие родичи культурных растений Вологодской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):49-59). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-49-59

Shlyakova Ye.V. Catalogue of weeds in Murmansk Province (Katalog sornykh rasteniy Murmanskoy oblasti). Apatity: Kolsk Branch of the USSR Acad. of Sci.; 1982. [in Russian] (Шлякова Е.В. Каталог сорных растений Мурманской области. Апатиты: Кольск. фил. АН СССР; 1982).

Shmidt V.M. Mathematical methods in botany (Matematicheskiye metody v botanike). Leningrad: Leningrad State University; 1984. [in Russian] (Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Ленинград: ЛГУ; 1984).

Silantyeva M.M. Conspectus florae of the Altai flora (Konspekt flory Altayskogo kraya). Barnaul: Altay State Univeristy; 2013. [in Russian] (Силантьева М.М. Конспект флоры Алтайского края. Барнаул: Алтайского государственный университет; 2013).

Sleptsova N.P., Rudakov K.M. A comparative analysis of the segetal flora of the Bashkir Trans-Urals and Central Yakutia (Sravnitelny analiz segetalnoy flory Bashkirskogo Zauralya i Tsentralnoy Yakutii). *Biologicheskiye nauki = Biological Sciences*. 1985;7:63-67. [in Russian] (Слепцова Н.П., Рудаков К.М. Сравнительный анализ сегетальной флоры Башкирского Зауралья и Центральной Якутии. *Биологические науки*. 1985;7:63-67).

Takhtajan A.L. Magnoliofite system (Sistema magnoliofitov). Leningrad; 1987. [In Russian] (Тахтаджян А.Л. Система магнолиофитов. Ленинград; 1987).

Terekhina T.A. Anthropogenic phytosystems (Antropogennye fitosistemy). Barnaul: Altay State University; 2000. [in Russian] (Терехина Т.А. Антропогенные фитосистемы. Барнаул: Алтайский государственный университет; 2000).

The Plant List. A working list of all plant species. 2013–2020. URL: http://www.theplantlist.org [accessed Sept. 9.2019].

Tolmachev A.I. Introduction to the geography of plants (Vvedeniye v geografiyu rasteniy). Leningrad: Leningrad State University; 1974. [in Russian] (Толмачев А.И. Введение в географию растений. Ленинград: ЛГУ; 1974).

Tretyakova A.S. Bioecological characteristics of segetal flora in the Middle Urals. *Russian Journal of Ecology*; 2006;37(2):97-102. DOI: 10.1134/S1067413606020056

Tretyakova A.S., Kondratkov P.V. Dynamics of the segetal species composition in the Sverdlovsk region. *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal*. 2018;103(12):1607-1622. [in Russian] (Третьякова А.С., Кондратков П.В. Изменения видового состава сегетальных растений Свердловской области. *Ботанический журнал*; 2018;103(12):1607-1622). DOI: 10.1134/S0006813618120086

Tuganayev V.V. Agrophytocenoses of modern agriculture, and their history (Agrofitotsenozy sovremennogo zemledeliya i ikh istoriya). Moscow: Nauka; 1984. [in Russian] (Туганаев В.В. Агрофитоценозы современного земледелия и их история. Москва: Наука; 1984).

Tuganayev V.V. Analysis of segetal flora of the Volga-Kama region (Analiz segetalnoy flory Volzhsko-Kamskogo kraya). In.: *Cultivated and Weedy Vegetation of Udmurtia* (*Kulturnaya i sornaya rastitelnost Udmurtii*). Izhevsk; 1977. p.32-53. [in Russian] (Туганаев В.В. Анализ сегетальной флоры Волжско-Камского края. В кн.: *Культурная и сорная растительность Удмуртии*. Ижевск; 1977. С.32-53).

Tuganayev V.V. On the characteristics of the weed-field flora of the Cis-Kama and Eastern areas of Tatarstan (K kharakteristike sorno-polevoy flory predkamskikh i vostochnykh rayonov Tatarii). In: Problems of Agrophytocenology (*Voprosy agrofitotsenologii*). Kazan; 1971. p.146-152. [in Russian] (Туганаев В.В. К характеристике сорно-полевой флоры предкамских и восточных районов Татарии. В кн.: *Вопросы агрофитоценологии*. Казань; 1971. С.146-152).

Tuganayev V.V., Lekontseva L.R., Puzyrev A.N. Botanical review and history of agroecosystems of the Vyatka-Kama Cis-Urals (Botanicheskiy obzor i istoriya agroekosistem Vyatsko-Kamskogo Preduralya). Izhevsk: Institute of Computer-Aided Research; 2015. [in Russian] (Туганаев В.В., Леконцева Л.Р., Пузырев А.Н. Ботанический обзор и история агроэкосистем

Вятско-Камского Предуралья. Ижевск: Институт компьютерных исследований; 2015).

Tuganayev V.V., Semenova L.R. Floro-cenotic features of the vegetation cover of arable land in southern Udmurtia (Floro-tsenoticheskiye osobennosti rastitelnogo pokrova pakhotnykh zemel yuzhnoy Udmurtii). *Bulletin of Udmurt University*. 1993;3:66-76. [in Russian] (Туганаев В.В., Семенова Л.Р. Флоро-ценотические особенности растительного покрова пахотных земель южной Удмуртии. *Вестник Удмуртского университета*. 1993;3:66-76).

Tzvelev N.N. Key to the vascular plants of Northwestern Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod Provinces). St. Petersburg: St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical Academy; 2000. [in Russian] (Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия; 2000).

Ulyanova T.N. The species composition of the main weed-field plants of the flora of the Soviet Far East (Vidovoy sostav osnovnykh sorno-polevykh rasteniy flory Sovetskogo Dalnego Vostoka). *Botanicheskii zhurnal = Botanical Journal.* 1985;70(4):482-490. [in Russian] (Ульянова Т.Н. Видовой состав основных сорно-полевых растений флоры Советского Дальнего Востока. *Ботанический журнал.* 1985;70(4):482-490).

Ulyanova T.N. Weeds in the flora of Russia and neighboring states (Sornye rasteniya vo flore Rossii i sopredelnykh gosudarstv). Barnaul: Azbuka; 2005. [in Russian] (Ульянова Т.Н. Сорные растения во флоре России и сопредельных государств. Барнаул: Азбука; 2005).

Yurtsev B.A., Kamelin R.V. The basic concepts and terms of floristry: The basic concepts and terms of floristry: a textbook for a special course (Osnovnyye ponyatiya i terminy floristiki: uchebnoye posobiye po spetskursu). Perm: Perm University; 1991. [in Russian] (Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики: Пермь: Пермский университет; 1991).

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

Третьякова А.С., Баранова О.Г., Лунева Н.Н., Терехина Т.А., Ямалов С.М., Лебедева М.В., Хасанова Г.Р., Груданов Н.Ю. Сегетальная флора некоторых регионов России: характеристика таксономической структуры. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):123-133. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-123-133

Tretyakova A.S., Baranova O.G., Luneva N.N., Terekhina T.A., Yamalov S.M., Lebedeva M.V., Khasanova G.R., Grudanov N.Yu. Segetal flora of some regions of Russia: characteristics of the taxonomic structure. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):123-133. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-123-133

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/10.30901/2227-8834-2020-2-123-133

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Tretyakova A.S. https://orcid.org/0000-0001-8735-4482
Baranova O.G. https://orcid.org/0000-0002-2964-0832
Luneva N.N. https://orcid.org/0000-0001-7972-6362
Terekhina T.A. https://orcid.org/0000-0003-0807-1551
Yamalov S.M. https://orcid.org/0000-0002-7052-522X
Lebedeva M.R. https://orcid.org/0000-0002-5020-527X
Khasanova V.G. https://orcid.org/0000-0002-5971-9680
Grudanov N.Yu. https://orcid.org/0000-0002-0498-2975

Микобиота зерна селекционных линий овса ФИЦ «Немчиновка» конкурсного сортоиспытания на полях в Московской области в 2019 году

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-134-144
УДК [633.13:632.4]:631.421
Поступление/Received: 10.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

О. П. ГАВРИЛОВА [1], Т. Ю. ГАГКАЕВА [1], А. С. ОРИНА [1], А. С. МАРКОВА [2], А. Д. КАБАШОВ [2], И. Г. ЛОСКУТОВ [3]*

*[1] Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608 Россия, г. Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3
olgavrilova1@yandex.ru*

*[2] Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026 Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Новоивановское, ул. Калинина, 1
ovesmoskov@yandex.ru*

*[3] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
* i.loskutov@vir.nw.ru;*

Mycobiota in the grain of the oat breeding lines produced in 2019 in competitive variety trials on the fields of Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province

O. P. GAVRILOVA [1], T. YU. GAGKAEVA [1], A. S. ORINA [1], A. S. MARKOVA [2], A. D. KABASHOV [2], I. G. LOSKUTOV [3]*

*[1] All-Russian Institute of Plant Protection,
3 Podbelskogo Street, Pushkin,
St. Petersburg 196608, Russia
olgavrilova1@yandex.ru*

*[2] Nemchinovka Federal Research Center,
1 Kalinina St., Novoivanovskoye, Odintsovo,
Moscow Province 143026, Russia
ovesmoskov@yandex.ru*

*[3] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
* i.loskutov@vir.nw.ru*

Актуальность. Высокий спрос на качественное зерно овса для производства продуктов питания приводит к необходимости исследований устойчивости этой зерновой культуры к вредоносным заболеваниям и созданию новых высокопродуктивных сортов. **Материалы и методы.** Материалом исследования являлись селекционные линии голозерной формы и сорта овса из Федерального исследовательского центра «Немчиновка», которые охарактеризовали по показателям микробиологической чистоты зерна. Анализ зараженности грибами и установление видового состава микобиоты зерна овса проводили с помощью микологического метода, количество ДНК токсинопродуцирующих видов рода *Fusarium* Link в зерне выявляли с помощью реал-тайм ПЦР, а количество образуемых ими микотоксинов определяли иммуноферментным методом. **Результаты.** В составе микобиоты выявлены представители родов *Alternaria* Nees, *Fusarium*, *Cladosporium* Link, *Cochliobolus* Drechsler, *Epicoccum* Link. Установлена уникально высокая зараженность грибом *F. langsethiae* Torp & Nirenberg зерна овса в естественных условиях Центрального региона России (14% у пленчатого сорта 'Яков'). Оценка содержания биомассы токсинопродуцирующих грибов *Fusarium* и их микотоксинов в зерне выявила различия анализируемых селекционных линий и сортов по количествам ДНК *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* Sherb. – от $1{,}3\times10^{-4}$ до $7{,}2\times10^{-3}$ пг/нг общей ДНК и Т-2/НТ-2-токсинов – от 5 до 1230 мкг/кг. **Заключение.** По сумме показателей оценки зараженности зерна, биомассы грибов *Fusarium* и микотоксинов все селекционные линии являлись лучшими относительно стандартного пленчатого сорта 'Яков'. Три из них – 66h2618, 54h2476 и 70h2613 – являлись лучшими относительно голозерного сорта-стандарта 'Вятский голозерный' в условиях проведения эксперимента.

Ключевые слова: *Avena sativa*, грибы, ДНК, *Fusarium*, Т-2/НТ-2 токсины.

Background. The requirement for high-quality oat grain for food production leads to the need for studying the resistance of this cereal crop to harmful diseases and for the development of new productive cultivars. **Materials and methods.** A comparative characterization was performed among the breeding lines of naked oats from Nemchinovka Federal Research Center according to the parameters of microbiological purity of grain. The mycological method was applied for the analysis of infection in the oat grain, and fungal species composition was identified. The DNA amount of toxin-producing species from genus *Fusarium* Link in the grain was detected using the real-time PCR, and the amount of mycotoxins was measured by the enzyme immunoassay. **Results.** The fungi of *Alternaria* Nees, *Fusarium*, *Cladosporium* Link, *Cochliobolus* Drechsler, *Epicoccum* Link were associated with oat grain. Uniquely high infection of the grain by *F. langsethiae* Torp & Nirenberg (14%) was found under the natural conditions of the Central Region of Russia. The differences revealed among the analyzed breeding lines and cultivars in the DNA amount of *F. langsethiae* and *F. sporotrichioides* Sherb. were from 1.3×10^{-4} to 7.2×10^{-3} pg/ng in the total DNA, and from 5 to 1230 μg/kg in the content of T-2/ HT-2 toxins. **Conclusion.** All naked oat breeding lines were relatively resistant to *Fusarium* infection and proved the best as regards the mycotoxin contamination of the grain against the reference hulled cultivar 'Yakov'. In the competitive variety trials, three lines – 66h2618, 54h2476 and 70h2613 – were characterized as relatively resistant to *Fusarium* disease, compared with the naked oat reference 'Vyatsky golozerny'.

Key words: *Avena sativa*, DNA, *Fusarium*, fungi, T-2/HT-2 toxins.

Введение

Овес – это незаменимая по питательной ценности зерновая культура, имеющая огромные преимущества при получении качественных продуктов питания для людей и кормов для животных. Главным направлением селекции овса является создание сортов с высоким потенциалом продуктивности и качества, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды. Успешным решением проблем может стать наличие соответствующего исходного материала. В научных центрах России ученые много лет занимаются изучением генетического разнообразия овса, оценкой его различных признаков, перспективных генотипов и в конечном итоге – созданием новых сортов овса, в том числе голозерной формы (Isachkova, Ganichev, 2013; Kabashov et al., 2013; Batalova, 2014; Loskutov et al., 2016; Ivanova, Fomina, 2017).

Федеральный исследовательский центр (ФИЦ) «Немчиновка» является одним из ведущих селекционных центров России по созданию новых сортов сельскохозяйственных культур, которые получают широкое распространение в различных регионах нашей страны (Goncharenko, 2005). В настоящее время в Госреестр селекционных достижений включены 18 сортов пленчатого ярового овса (*Avena sativa* L.), оригинатором/патентообладателем которых является ФИЦ «Немчиновка»: ‘Борец’, ‘Буланый’, ‘Всадник’, ‘Грум’, ‘Дерби’, ‘Друг’, ‘Залп’, ‘Кентер’, ‘Козырь’, ‘Конкур’, ‘Лев’, ‘Метис’, ‘Привет’, ‘Рысак’, ‘Скакун’, ‘Стиплер’, ‘Улов’ и ‘Яков’. В 2017 г. сорта овса, созданные при участии сотрудников ФИЦ «Немчиновка», вошли в десятку лидеров по объемам высева на территории России: ‘Скакун’ (40,8 тыс. га) и ‘Конкур’ (40,1 тыс. га) – второе и третье места в рейтинге, а также ‘Яков’ и ‘Лев’, которые занимали площади 18,1 тыс. га и 14,4 тыс. га соответственно (Nikolaev, Androsova, 2018).

Одним из наиболее перспективных методов создания сортов голозерного овса является скрещивание лучших пленчатых сортов и линий с голозерными сортообразцами из местной популяции (Kabashov et al., 2018). На основе этой методики был выведен сорт голозерного овса ‘Немчиновский 61’, допущенный в 2020 г. к использованию в Северо-Западном, Центральном и Центрально-Черноземном регионах России.

Высокий спрос на качественное зерно овса для производства продуктов питания вызвал всплеск исследований по устойчивости этой культуры к вредоносным заболеваниям. Микробиологическое состояние зерна во многом определяют спектр и активность разнообразных микроорганизмов, ассоциированных с растениями; при этом развитие этих взаимоотношений в значительной степени зависит от условий окружающей среды и генотипа хозяина. Сосуществование микроорганизмов и их постоянный контакт с растением привели к появлению различных симбиотических отношений между ними (Tihonovich, Provorov, 2011). Многие грибы в процессе жизнедеятельности продуцируют различные вторичные метаболиты, как благоприятно влияющие на развитие растения, так и оказывающие на него угнетающее действие. Некоторые виды грибов способны образовывать микотоксины, негативно влияющие на здоровье людей и животных при употреблении ими продуктов и кормов на основе зерна. Конечное качество зерна, как правило, напрямую зависит от представленности и численности токсинопродуцирующих видов грибов в микобиоте. Зерно, зараженное в высокой степени грибами рода *Fusarium* Link, обязательно должно проверяться на присутствие и количество токсичных вторичных метаболитов, образуемых этими грибами. В России, согласно нормативным документам, установлены предельно допустимые количества (ПДК) для четырех микотоксинов, образуемых фузариевыми грибами, в том числе количество Т-2-токсина в зерне овса на кормовые цели и зерновой продукции не должно превышать 100 мкг/кг, а дезоксиниваленола (ДОН) – 700–1000 мкг/кг (SanPiN 2.3.2.1078-01; TR CU 015/2011, TR CU 021/2011).

Накопленный к настоящему времени мировой опыт изучения проблемы фузариоза овса показывает, что визуальная оценка, опирающаяся на видимые признаки заболевания, редко связана с реальной зараженностью зерна, последующим заболеванием проростков, а также количеством обнаруживаемых микотоксинов (Šliková et al., 2010; Gagkaeva et al., 2013; Tekle et al., 2018). В первую очередь эта связь определяется составом доминирующих видов фузариевых грибов, зависит от условий, складывающихся в период вегетации культуры в конкретном регионе.

Бессимптомность фузариоза метелки овса не позволяет селекционерам проводить достоверную оценку распространения заболевания в поле и судить о конечной зараженности зерна (Zhuikova, Batalova, 2019). Оценка устойчивости овса к заражению грибами *Fusarium* и накоплению микотоксинов должна основываться в большей степени на данных, полученных в лабораторных исследованиях, чем полевых. Полученная информация о зараженности зерна и спектре доминирующих видов позволяет выбрать наиболее перспективный материал для селекционной работы и сконцентрировать усилия для получения сорта с ценными качественными характеристиками, не накапливающего микотоксины.

Целью исследования являлось определение количественных характеристик микробиологического состояния зерна перспективных голозерных линий овса из конкурсного испытания в ФИЦ «Немчиновка» в 2019 г.

Материалы и методы

Материалом исследования являлись 10 селекционных линий голозерного овса и сорт ‘Немчиновский 61’ селекции ФИЦ «Немчиновка» (табл. 1). В качестве стандартов сравнения были выбраны сорта ‘Вятский голозерный’ (Зональный НИИ сельского хозяйства Северо-Востока), а также пленчатый сорт ‘Яков’ (ФИЦ «Немчиновка»).

Растения выращивали в питомнике «Конкурсное сортоиспытание» на полях ФИЦ «Немчиновка» Московской области на делянках размером 10 м^2 по предшественнику яровой ячмень согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Methodology..., 1989). Уборка урожая была произведена в оптимальные сроки.

Погодные условия вегетационного периода 2019 г. характеризовались повышенным температурным режимом и дефицитом осадков в мае – июне. В мае средняя температура воздуха превысила средние многолетние показатели в течение всего месяца, осадки преобладали над среднемноголетними в 2,5 раза только в первую декаду. В остальные дни наблюдался острый дефицит влаги, что на фоне повышенной температуры воздуха привело к весенней засухе. В течение всего июня температура воздуха превышала средние многолетние показатели, приблизившись к ним только к концу месяца. Осадки в первую декаду практически отсутствовали, во вторую

Таблица 1. Сорта и линии ярового овса конкурсного сортоиспытания (ФИЦ «Немчиновка», 2019 г.)
Table 1. Oat cultivars and breeding lines in the competitive variety trials (Nemchinovka FRC, 2019)

№ п/п	Линия / сорт	Родословная
1	57h2396	Крестьянский местный × ЗАЛП
2	2h2348	Крестьянский местный × Рысак
3	16h2476	32h1962 × AC Lotta
4	54h2476	32h1962 × AC Lotta
5	2h2532	AC Batton × 53h2035
6	52h2467	28h1827 × Abel
7	50h2613	ЗАЛП × Bullion
8	70h2613	15h1946 × Bullion
9	55h2618	55h2106 × Pennline 2005
10	66h2618	55h2106 × Pennline 2005
11	Немчиновский 61	Крестьянский местный × 15h1880
12	Вятский голозерный	индивидуальный отбор из образца коллекции ВИР Adam (Чехия) с последующим многократным отбором по признаку пленчатости
13	Яков	Soroca × 36h1127

их количество составило 68% от средних многолетних, а в третью – в 1,5 раза превысило среднемноголетние показатели (44,8 мм против 29,8 мм). В июле средняя температура воздуха была незначительно ниже среднемноголетней и практически сравнялась с ней к концу месяца. Сумма выпавших осадков только в середине месяца была на уровне среднемноголетней, тогда как в начале и конце июля наблюдался острый дефицит влаги. В первой декаде августа были зафиксированы обильные осадки в совокупности с пониженным температурным режимом – на 3,4°С ниже относительно среднемноголетней.

Для оценки зараженности зерна грибами и выявления видового состава микобиоты поверхность зерен каждого среднего образца стерилизовали 5-процентным гипохлоритом натрия, затем отмывали стерильной водой. В чашки Петри на поверхность картофельно-сахарозной агаризованной среды (КСА) раскладывали не менее 100 зерен каждого образца. Чашки Петри инкубировали в темноте при 24°С в термостате MIR-254 (Sanyo, Великобритания); через 7 суток проводили учет всхожести зерна на питательной среде, а также численности и видового разнообразия микобиоты.

Таксономическую принадлежность грибов определяли по сумме макро- и микроморфологических признаков с использованием определителей и специализированной литературы (Gerlach, Nirenberg, 1982; Samson et al., 2002; Ellis, 1971; Torp, Nirenberg, 2004).

Зараженность зерна грибами рассчитывали как процентное отношение числа зерен, из которых были выделены грибы определенной таксономической группы, к общему числу анализируемых зерен. Долю вида или представителя секции в комплексе грибов *Fusarium* и *Alternaria* Nees рассчитывали как процентное отношение числа зерен, зараженных этим видом или представителями секции, к общему числу зерен, зараженных грибами рода.

Зерно каждого образца (10 г) гомогенизировали в стерильных размольных стаканах на мельнице Tube Mill Control (IKA, Германия) при 25000 об/мин в течение 30 с для голозерных образцов и 45 с для пленчатого. Выделение ДНК проводили из 200 мг полученной зерновой муки с помощью адаптированной методики (Mazzara et al., 2005). Типовые штаммы *Fusarium* spp. из коллекции микроорганизмов лаборатории микологии и фитопатологии Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) культивировали на КСА, а затем из мицелия грибов выделяли ДНК, используя набор реагентов Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Литва).

Концентрации полученной ДНК из муки и мицелия штаммов оценивали используя флуориметр Qubit 2.0 с набором реагентов Quant–iT dsDNA HS Assay Kit (Thermo Fisher Scientific, США) и выравнивали до рабочих значений 2–50 нг/мл.

Определение содержания в зерне ДНК грибов *F. sporotrichioides* Sherb. и *F. langsethiae* Torp & Nirenberg, способных продуцировать Т-2/НТ-2-токсины, оценивали методом реал-тайм ПЦР с помощью праймеров TMLAN и пробы, меченной красителем Cy5 и гасителем флуоресценции BHQ-2 (Yli-Mattila et al., 2008). Амплификацию проводили с использованием CFX 96 Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США). Протокол амплификации включал: 1 цикл [95°, 3 мин] и 40 циклов [95°, 10 с; 60°С, 10 с; 72°С, 20 с]. Количество ДНК грибов в каждом образце представляли в виде доли от общей выделенной ДНК (сокращенно: пг/нг).

Микотоксины из 1 г муки экстрагировали 5 мл водного раствора ацетонитрила (84:16, v/v) в течение 14–16 ч в условиях постоянного перемешивания при 300 об/мин на орбитальном шейкере S-3M (ELMI, Латвия). Суммарное количество Т-2/НТ-2-токсинов в полученных экстрактах определяли с помощью иммуноферментного метода. Использовали тест-систему «Т-2-токсин – ИФА» (ВНИИВСГЭ, Россия) с нижним пределом определения микотоксинов 4 мкг/кг. Анализ выполняли в наборных полистироловых планшетах (Медполимер, Россия), из-

мерение оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре LEDETECT 96 (Biomed, Австрия) при длине волны 492 нм.

Все лабораторные анализы выполняли как минимум двукратно. Для статистической обработки и визуализации полученных данных использовали программы Microsoft Excel 2010 и STATISTICA 10.0. Связь между количественными признаками оценивали с использованием линейного коэффициента корреляции Пирсона.

Результаты

В зерне анализированных генотипов овса выявлены разнообразные представители микобиоты, среди которых основную долю составляли виды родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Cladosporium* Link, *Cochliobolus* Drechsler, *Epicoccum* Link и другие (рис. 1). Единично из зерна были выделены грибы родов *Acremonium* Link, *Arthrinium* Kunze, *Gliocladium* Corda, *Microdochium* Syd. & P. Syd., *Mucor* P. Micheli ex L., *Nigrospora* Zimm., *Penicillium* Link, *Phoma* Fr. и *Trichothecium* Link.

Известно, что состав микобиоты, развивающейся на зерне, непосредственно влияет на его всхожесть. Определение всхожести зерна анализированных образцов на питательной среде позволило установить варьирование этого показателя от 59 до 90% (табл. 2). Лучшая всхожесть зерна выявлена у линий 57h2396 и 66h2618; она превышала всхожесть сортов-стандартов ‘Яков’ (71%) и ‘Вятский голозерный’ (79%). Однако представители микобиоты, выявленной в зерне овсов, не оказывали достоверного влияния на показатель всхожести.



Рис. 1. Чашки Петри с образцами зерна овса, зараженными грибами (КСА, 24°С, 7 суток)
Fig. 1. Petri dishes with oat grain samples infected with fungi (potato sucrose agar, 24°C, 7 days)

Таблица 2. Микобиота зерна образцов овса, выращенных в ФИЦ «Немчиновка», 2019 г.
Table 2. Mycobiota in the grain of oat accessions grown at Nemchinovka Federal Research Center, 2019

Линия / сорт	Всхожесть зерна, %	Зараженность зерна грибами, %						
		Alternaria		*Cladosporium*	*Cochliobolus*	*Epicoccum*	*Fusarium*	Другие / Others
		section *Alternaria*	section *Infectoriae*					
57h2396	90	53	6	9	4	0	9	4
2h2348	67	43	11	17	7	4	12	2
16h2476	81	39	7	10	2	2	9	10
54h2476	77	39	7	10	5	2	4	5
2h2532	84	21	3	9	1	2	7	8
52h2467	75	20	6	19	0	4	12	7
50h2613	73	39	8	8	4	0	8	8
70h2613	59	36	3	7	8	2	7	8
66h2618	90	46	4	16	13	0	5	2
55h2618	86	61	3	11	1	6	17	0
Немчиновский 61	81	43	3	12	5	0	16	6
Вятский голозерный	79	51	9	13	5	4	5	2
Яков	71	87	3	1	2	6	29	1

Грибы *Alternaria* являлись наиболее обильными представителями микобиоты зерна. Анализ морфологических признаков показал, что подавляющая доля представителей рода в микобиоте зерна относится к секции *Alternaria* Lawrence, Gannibal, Peever & Pryor (89%), остальные относились к видам секции *Infectoriae* Woudenb. & Crous. Установлены существенные различия суммарной зараженности зерна альтернариевыми грибами (24–64%). Наибольшую зараженность выявили у пленчатого сорта 'Яков' (90%). По сравнению с голозерным стандартом, сорт 'Немчиновский 61' характеризовался относительно низкой зараженностью грибами *Alternaria* (46%). Линии 2h2532, 52h2467 и 70h2613 имели самую низкую относительную зараженность зерна.

Грибы рода *Cladosporium* в зерне голозерных линий встречались с частотой 7–19%, тогда как зараженность зерна пленчатого сорта 'Яков' составила всего 1%.

Средняя зараженность зерна овса грибами рода *Cochliobolus*, среди которых могут встречаться виды *C. sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur (= *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker), *Drechslera avenae* (Eidam) Scharif и другие, характеризующиеся различными патогенными свойствами, не была высокой и варьировала в диапазоне 1–13%. Только в микобиоте зерна линии 52h2467 грибы *Cochliobolus* не выявлены.

Грибы *Epicoccum* встречались в 67% анализированных образцов овса голозерной формы. Зараженность зерна этими грибами была низкой, в среднем составила 2,2%. В зерне линии 55h2618 так же, как и у пленчатого стандарта, встречаемость грибов *Epicoccum* была выше (до 6%), по сравнению с другими анализированными образцами. Представители *Epicoccum* относятся к слабопатогенным грибам и рассматриваются как возможные агенты биоконтроля, защищающие растения от поражения патогенами (Jensen et al., 2016).

Зараженность зерна овса грибами рода *Fusarium* составила 26% у пленчатого сорта 'Яков' и 5% у сорта 'Вятский голозерный'. Зараженность зерна голозерных линий в среднем составила 8,1%. Выявленное разнообразие представителей рода *Fusarium* насчитывало девять видов: *F. anguioides* Sherb., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. graminearum* Schwabe, *F. langsethiae*, *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. semitectum* Berk. & Ravenel и *F. sporotrichioides*. Наиболее агрессивные по отношению к растениям виды грибов *Fusarium* отмечены единично: *F. graminearum* выявлен в зерне линий 57h2396 (зараженность зерна – 1%) и 50h261 (2%), а *F. culmorum* – в зерне сорта 'Яков' (1%).

Основными представителями фузариевых грибов в микобиоте овса являлись *F. poae*, *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* (рис. 2).

Зараженность зерна голозерных линий и сорта 'Немчиновский 61' грибом *F. poae* варьировала от 1% (линии 54h2476 и 66h2618) до 16% (линия 55h2618), а зараженность этим видом зерна 'Вятского голозерного' составила 5%.

В зерне пленчатого овса сорта 'Яков' среди фузариевых грибов доминировали *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, их доли составили соответственно 17,1% и 8,3% от общего числа изолятов *Fusarium*, в то время как доля *F. poae* была ниже – всего 5%. Грибы *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* в зерне голозерного стандарта и линии 70h2613 не выявлены, а в зерне остальных голозерных образцов суммарная зараженность этими видами варьировала от 1 до 8%.

Грибы *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae* являются продуцентами Т-2-токсина, содержание которого нормировано для зерна овса, кормов и продуктов на его основе. Поэтому представлялось интересным проанализировать селекционный материал с точки зрения накопления в зерне биомассы грибов *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae*, выявленной через количества их ДНК, и по количеству микотоксинов – Т-2-токсина и его производного НТ-2-токсина.

Результаты реал-тайм ПЦР установили, что количество ДНК грибов *Fusarium* в зерне сорта 'Вятский голозерный' составило (11,0 ± 1,8) × 10^{-4} пг/нг и пленчатого сор-

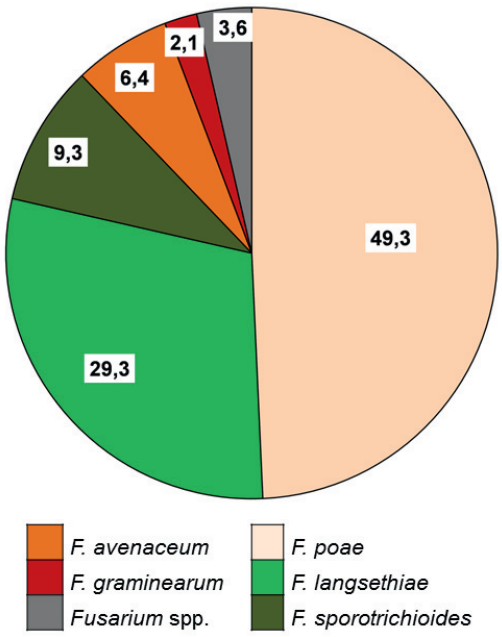


Рис. 2. Видовой состав грибов рода *Fusarium*, выделенных из зерна овса
(ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., 2019 г.)

Fig. 2. The species composition of *Fusarium* fungi isolated from oat grain
(Nemchinovka FRC, Moscow Province, 2019)

та ‘Яков’ – (71,9 ± 6,3) × 10^{-4} пг/нг (выявленный максимум). Только три селекционные линии – 2h2532, 52h2467 и 50h2613 – содержали ДНК грибов в количествах выше, чем у голозерного стандарта (рис. 3).

Количество Т-2/НТ-2-токсинов, выявленное в зерне пленчатого сорта ‘Яков’, было максимальным – 1230 мкг/кг. В зерне сорта ‘Вятский голозерный’ эти микотоксины были выявлены в низком количестве 71 мкг/кг. Содержание микотоксинов в зерне голозерных линий варьировало от 5 мкг/кг (линия 70h2613) до 230 мкг/кг (линия 50h2613). Только у пяти селекционных линий и сорта ‘Немчиновский 61’ так же, как и у стандарта ‘Вятский голозерный’, содержание Т-2/НТ-2-микотоксинов в зерне оказалось ниже ПДК (рис. 4).

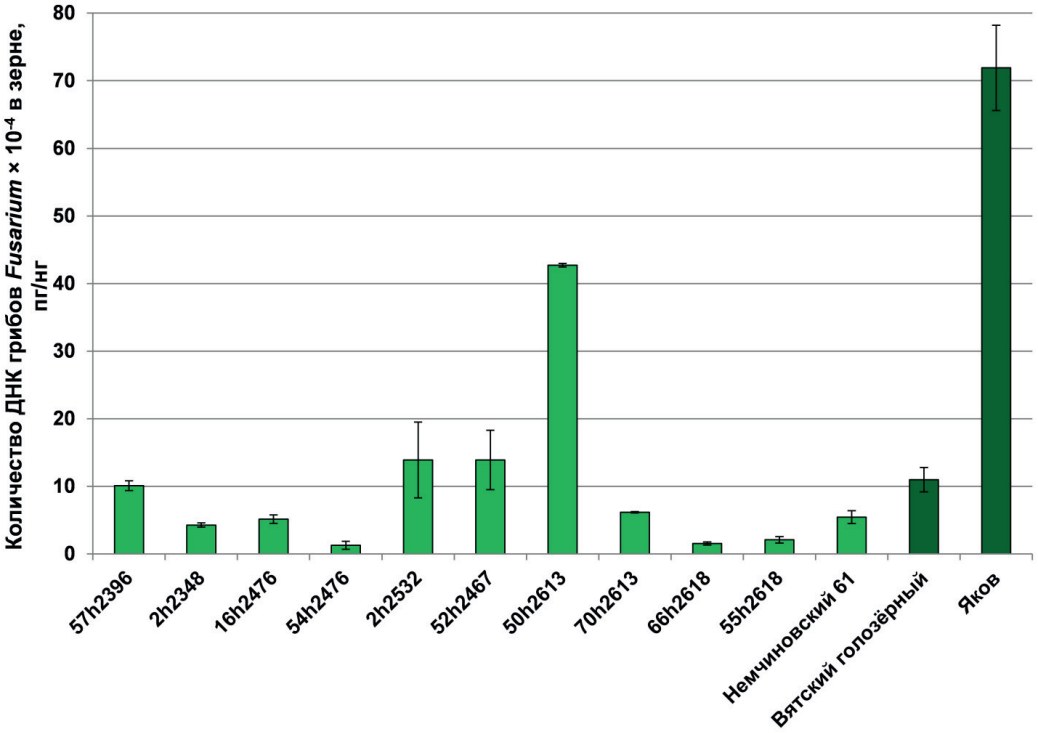


Рис. 3. **Суммарное содержание ДНК *Fusarium langsethiae* и *F. sporotrichioides* в зерне линий и сортов овса** (ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., 2019 г.)

Fig. 3. **The total DNA content of *Fusarium langsethiae* and *F. sporotrichioides* in the grain of oat breeding lines and cultivars** (Nemchinovka FRC, Moscow Province, 2019)

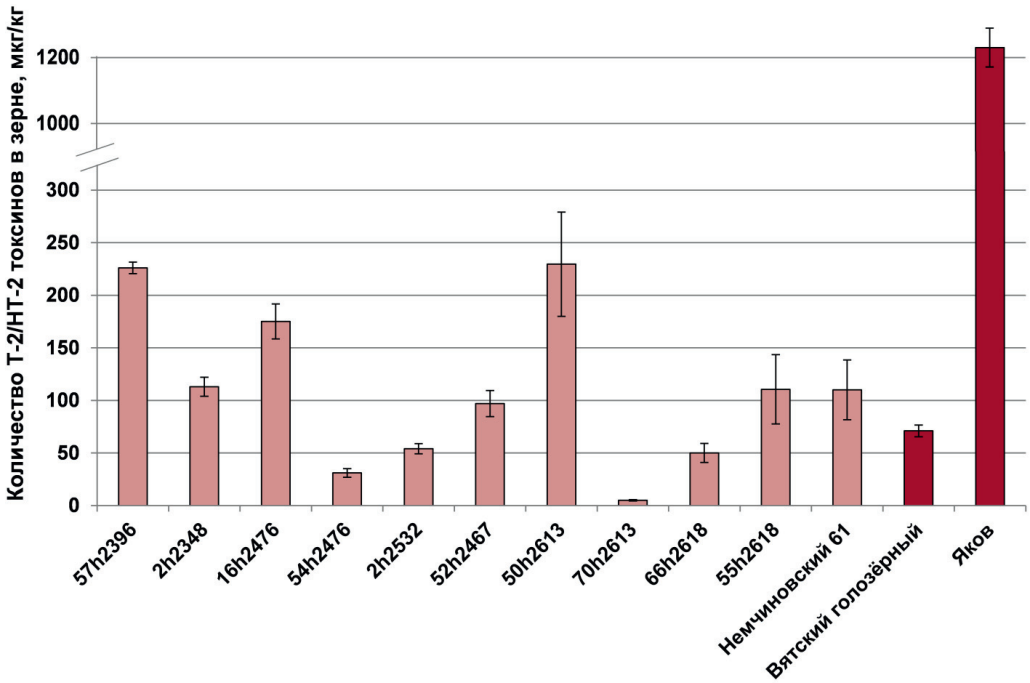


Рис. 4. **Содержание Т-2/НТ-2-токсинов в зерне линий и сортов овса** (ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., 2019 г.)

Fig. 4. **The content of T-2/HT-2 toxins in the grain of oat breeding lines and cultivars** (Nemchinovka FRC, Moscow Province, 2019)

Обсуждение

Микробиологическое сообщество зерна является многокомпонентным и чрезвычайно разнообразным по степени функциональных особенностей его составляющих. Проведенный микологический анализ показал, что зерно всех образцов овса было заражено грибами *Alternaria*, *Cladosporium* и *Fusarium*, однако численность и видовое разнообразие выявленных микромицетов варьировало в зависимости от анализируемого генотипа.

Виды грибов *Alternaria* хорошо адаптированы и занимают свою определенную нишу в микобиоте зерновых культур, взаимодействуя с другими участниками сообщества. Соотношение видов секций *Alternaria* и *Infectoriae* в микобиоте зерновых культур во многом зависит от погодно-климатических факторов и может существенно варьировать в разные вегетационные сезоны (Kosiak et al., 2004; Gannibal, 2018). О токсичности вторичных метаболитов этих грибов существуют противоречивые мнения, однако представители рода *Alternaria* могут продуцировать микотоксины, опасные для человека и животных (Lee et al., 2015). Известно, что виды *Alternaria* sect. *Alternaria* продуцируют альтернариол (АОЛ) в значительных количествах, тогда как о потенциале образования АОЛ видами *Alternaria* sect. *Infectoriae* нет единого мнения среди исследователей этой группы грибов (Andersen et al., 2002; Oviedo et al., 2013). В нашей работе показано, что 89% изолятов *Alternaria*, выделенных из анализированного зерна овса, относились к секции *Alternaria*. В 2014 г. значительные количества АОЛ (1159–1545 мкг/кг) были обнаружены в зерне овса из Северо-Западного региона России, но достоверной связи между зараженностью видами *Alternaria* и контаминацией зерна этим метаболитом не выявили (Gavrilova et al., 2016).

Грибы *Cladosporium*, широко встречающиеся на вегетирующих злаковых растениях, характеризуются как сапротрофы (Bensch et al., 2012). Зараженность этими грибами выявлена в пределах 1–19%, но так же, как и в случае с зараженностью грибами *Alternaria*, она не оказывала влияние на всхожесть зерна. В результате наших многолетних наблюдений установлено, что на питательной агаризованной среде всхожесть зерновок, из внутренних тканей которых выделяются разные виды грибов рода *Alternaria*, достоверно не отличается от незараженных зерен и из них формируются здоровые первичные корешки и проростки (Gannibal, 2014).

Условия вегетационного периода сложились таким образом, что частота встречаемости патогенных видов грибов, таких как *Cochliobolus* spp., *Fusarium graminearum* и *F. culmorum*, была низкой. Их присутствие в зерне никак не сказалось на его всхожести несмотря на то, что основная вредоносность грибов *Cochliobolus* проявляется в виде корневых гнилей и пятнистостей листьев (Condon et al., 2013). Зерно линии 55h2618, характеризующейся самой низкой урожайностью среди всех анализированных линий, имело максимальную зараженность (13%) грибами *Cochliobolus*. Низкая зараженность зерна (не более 2%) агрессивными видами *Fusarium graminearum* и *F. culmorum*, продуцирующими ДОН, не предполагает существенного загрязнения зерна этим микотоксином. Основными токсинопродуцирующими видами в микобиоте анализированных генотипов овса являлись *F. poae* – продуцент ниваленола (НИВ), а также *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, образующие Т-2/НТ-2-токсины. Грибы *F. poae* и *F. langsethiae* не вызывают видимых симптомов фузариоза на метелках овса даже в условиях искусственной инокуляции (Imathiu et al., 2013; Martin et al., 2018), однако заражение ими приводит не только к загрязнению зерна микотоксинами, но и к изменению содержания в нем ценных полисахаридов – бета-глюканов.

В России массовый скрининг зараженности грибами зерна овса, выращенного в Северо-Западном регионе РФ, был проведен в 2007–2009 гг. (Gavrilova et al., 2009a), а затем в 2014 г. (Gagkaeva, Gavrilova, 2015). В результате значительных различий по числу и спектру видов *Fusarium* не выявлено: основную долю занимали *F. poae* и *F. sporotrichioides*. Вид *F. langsethiae* являлся относительно редким, зараженность зерна этим видом не превышала 6% (Архангельская обл.). Исследование микобиоты зерна 41 образца овса из коллекции ВИР, выращенного в 2016–2018 гг. в Ступинском районе Московской области, выявило девять видов *Fusarium*, из которых *F. avenaceum* и *F. poae* относились к часто встречающимся видам (Vargach et al., 2019).

Как показывают многочисленные исследования, слабопатогенный гриб *F. poae* повсеместно присутствует и часто доминирует в комплексе фузариевых грибов на зерне овса, что является одной из особенностей микобиоты этой зерновой культуры (Stenglein et al., 2009, Gavrilova et al., 2015; Gagkaeva et al., 2017). *F. poae* продуцирует НИВ, однако его содержание в зерне не нормируется, а свойства данного метаболита находятся в стадии изучения. Высокая зараженность зерна *F. poae* может приводить к содержанию в зерне значительных количеств НИВ, который предположительно играет важную роль в патогенезе *F. poae* (Vogelgsang et al., 2012).

Филогенетически близкие виды *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, несмотря на сходство по профилю продуцируемых ими микотоксинов, характеризуются разными жизненными стратегиями и трофическими связями. Вид *F. sporotrichioides* – относительно патогенный гриб, способный поражать различные растения (Gagkaeva et al., 2014), тогда как *F. langsethiae* – эндофит, выявленный только на зерновых культурах, слабо растущий на искусственных питательных средах. Механизм заражения растений, жизненный цикл, ареал этого вида гриба, а также влияние различных факторов на его адаптивные признаки активно исследуются (Imathiu et al., 2016; Gavrilova et al., 2017; Divon et al., 2019; Schöneberg et al., 2019). Начиная с 2003 г. *F. langsethiae* выявляют на зерновых культурах, выращенных на территории России (Gagkaeva et al., 2014). Однако до настоящего исследования заражение зерна этим видом на уровне 14% в естественных условиях является максимальным выявленным значением. По всей видимости, условия вегетационного периода 2019 г., сложившиеся на экспериментальном поле в Московской области, способствовали заражению овса *F. langsethiae* и накоплению микотоксинов в зерне.

Т-2/НТ-2-токсины, продуцируемые *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, являются одними из наиболее опасных микотоксинов для теплокровных организмов (Ueno, 1984; Schuhmacher-Wolz, 2010; Li et al., 2011). В нашей работе максимальное количество этих вторичных метаболитов выявлено в зерне пленчатого сорта ‘Яков’, которое превысило установленную для Т-2-токсина ПДК в 11 раз. Зараженность *F. langsethiae*, содержание в зерне ДНК *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* у этого сорта также были максимальными из всех анализированных генотипов. Ранее неоднократно отмечалось значительное превышение показателей зараженности и контаминации микотоксинами зерна пленчатых овсов по

сравнению с голозерными (Tekauz et al., 2008; Gavrilova et al., 2009b; Yan et al. 2010; Gagkaeva et al., 2013; Martin et al., 2018). В нашем исследовании образцы зерна голозерных овсов характеризовались значительно меньшими содержаниями микотоксинов ($p = 1,2\times10^{-8}$) и биомассы грибов ($p = 2,6\times10^{-4}$) по сравнению с пленчатым сортом 'Яков'.

В зерне голозерных линий, у которых количество микотоксинов было выше ПДК в 1,1–2,3 раза, суммарная зараженность зерна продуцентами варьировала от 1 до 8% так же, как и количество их ДНК – от $2,1\times10^{-4}$ до $42,7\times10^{-4}$ пг/нг. Корреляционный анализ связей между показателями, определенными для голозерных образцов овса без учета пленчатого сорта 'Яков', выявил невысокую достоверную связь между зараженностью зерна видами *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* ($r = 0,62$ при $p = 0,032$), а также содержанием ДНК этих грибов и количествами Т-2/НТ-2-токсинов в зерне ($r = 0,54$ при $p = 0,069$). При равных условиях ключевую роль в устойчивости селекционного материала к фузариозу играет «генетический бэкграунд» созданных линий. Нами установлено, что две голозерные линии, имеющие в родословной сорт 'Залп', характеризовались более высоким содержанием микотоксинов ($p = 0,0024$) и ДНК грибов ($p = 0,014$). По всей видимости, скрещивание с данным сортом увеличивает восприимчивость к фузариозу зерна.

Обобщая данные, полученные современными аналитическими методами анализа, по сумме встречаемости токсинопродуцирующих грибов *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides* и количеству их метаболитов к наиболее перспективным генотипам, выращенным в условиях проведения эксперимента, можно отнести три линии голозерного овса – 66h2618, 54h2476 и 70h2613.

Необходимы дальнейшие исследования взаимоотношений представителей микобиоты зерна овса и влияния их на генетические механизмы устойчивости растений, многообразие которых в конечном итоге сказывается на получении высокого и качественного урожая.

Заключение

Созданные в ведущем селекционном центре ФИЦ «Немчиновка» голозерные линии овса охарактеризовали по сумме признаков, отражающих микотоксикологическое качество зерна: видовой состав микобиоты зерна, количество ДНК наиболее значимых представителей грибов рода *Fusarium* и образуемых ими микотоксинов.

Состав растительно-микробных ассоциаций зависит от генотипа растения и окружающей среды. Условия вегетационного периода 2019 г. в Московской области способствовали значительной инфицированности зерна овса грибом *F. langsethiae* и загрязнению Т-2/НТ-2-токсинами. Показано, что голозерные линии овса были значительно более устойчивы к фузариозу зерна и накоплению микотоксинов, чем пленчатый сорт 'Яков'. По результатам настоящего исследования, к наиболее устойчивым к фузариозу зерна генотипам овса относились голозерные линии 66h2618, 54h2476 и 70h2613.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 19-76-30005).

The research was performed with a support of the Russian Scientific Foundation (Project No. 19-76-30005).

References/Литература

Andersen B., Krøger E., Roberts R.G. Chemical and morphological segregation of *Alternaria arborescens*, *A. infectoria* and *A. tenuissima* species-groups. *Mycological Research*. 2002;106(2):170-182. DOI: 10.1017/S0953756201005263

Batalova G.A. Perspectives and results of naked oats breeding. *Legumes and Groat Crops.* 2014;2(10):64-69. [in Russian] (Баталова Г.А. Перспективы и результаты селекции голозерного овса. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;2(10):64-69).

Bensch K., Braun U., Groenewald J.Z., Crous P.W. The genus *Cladosporium*. *Studies in Mycology*. 2012;72(1):1-401. DOI: 10.3114/sim0003

Condon B.J., Leng Y., Wu D., Bushley K.E., Ohm R.A., Otillar R. et al. Comparative genome structure, secondary metabolite, and effector coding capacity across *Cochliobolus* pathogens. *PLOS Genetics*. 2013;9(1):e1003233. DOI: 10.1371/journal.pgen.1003233

Divon H.H., Bøe L., Tveit M.M.N., Klemsdal S.S. Infection pathways and penetration modes of *Fusarium langsethiae*. *European Journal of Plant Pathology*. 2019;154(2):259-271. DOI: 10.1007/s10658-018-01653-3

Ellis M.B. Dematiaceous Hyphomycetes. Kew, Surrey: Commonwealth Mycological Institute; 1971.

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P. Contamination of oats grain by fungi and pollution by mycotoxins in the northwest of Russia in 2014. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2015;(8):10-12. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П. Зараженность грибами и загрязнение микотоксинами зерна овса на Северо-Западе России в 2014 г. *Защита и карантин растений*. 2015;(8):10-12).

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Levitin M.M. Biodiversity and distribution of the main toxigenic *Fusarium* fungi. *Biosfera = Biosphere*. 2014;6(1):36-45. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Биоразнообразие и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium*. *Биосфера*. 2014;6(1):36-45).

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P. Orina A.S., Blinova E.B., Loskutov I.G. Diversity of the species of genus *Avena* revealed by morphological characters and resistance to *Fusarium* infection of grain. *Ecological Genetics*. 2017:15(1):20-29. [in Russian] (Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С., Блинова Е.В., Лоскутов И.Г. Разнообразие видов рода *Avena* по морфологическим признакам и устойчивости к фузариозу зерна. *Экологическая генетика*. 2017:15(1):20-29). DOI: 10.17816/ecogen15120-29

Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Yli-Mattila T., Loskutov I.G. Sources of resistance to *Fusarium* head blight in VIR oat collection. *Euphytica*. 2013;191(3):355-364. DOI: 10.1007/s10681-013-0865-7

Gannibal F.B. *Alternaria* disease of grain – modern view of the problem. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2014;(6):11-15. [in Russian] (Ганнибал Ф.Б. Альтернариоз зерна – современный взгляд на проблему. *Защита и карантин растений*. 2014;(6):11-15).

Gannibal Ph.B. Factors affected *Alternaria* appearance in grains in European Russia. *Agricultural Biology.* 2018:53(3):605-615. [in Russian] (Ганнибал Ф.Б. Изучение факторов, влияющих на развитие альтернариоза зерна у злаков, возделываемых в европейской части России. *Сельскохозяйственная*

биология. 2018:53(3):605-615). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.3.605rus

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Burkin A.A., Kononenko G.P. Mycological infection by *Fusarium* strains and mycotoxins contamination of oats and barley in the north of Nonchernozem'e. *Agricultural Biology.* 2009a;6:89-93. [in Russian] (Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Буркин А.А., Кононенко Г.П. Зараженность грибами рода *Fusarium* и контаминация микотоксинами зерна овса и ячменя на севере Нечерноземья. *Сельскохозяйственная биология.* 2009a;6:89-93).

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Loskutov I.G. Evaluation of oat accessions from the VIR collection for fusarial head blight resistance *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding.* 2009b;165:182-186. [in Russian] (Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Лоскутов И.Г. Характеристика устойчивости образцов овса из коллекции ВИР к фузариозу зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009b; 165:182-186).

Gavrilova O.P., Gannibal Ph.B., Gagkaeva T.Yu. *Fusarium* and *Alternaria* fungi in grain of oats grown in the North-Western Russia regarding cultivar specificity. *Agricultural Biology.* 2016;51(1):111-118. [in Russian] (Гаврилова О.П., Ганнибал Ф.Б., Гагкаева Т.Ю. Зараженность зерна овса грибами *Fusarium* и *Alternaria* и ее сортовая специфика в условиях Северо-Запада России. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(1):111-118). DOI: 10.15389/agrobiology.2016.1.111rus

Gavrilova O.P., Gribchenko E.S., Loskutov I.G., Gagkaeva T. Yu. Influence of a flower film on the mycobiota of oat genotypes (Vlianiye tsvetkovoy plenki na mikobiotu genotipov ovsa). In: Yu.T. Dyakov (ed.). *Current Mycology in Russia. Vol. 5. Proceedings of the III International Mycological Forum; April 14–15, 2015; Moscow, Russia*. Moscow: National Academy of Mycology; 2015. p.44-46. [in Russian] (Гаврилова О.П., Грибченко Э.С., Лоскутов И.Г., Гагкаева Т.Ю. Влияние цветковой пленки на микобиоту генотипов овса. В кн.: *Современная микология в России Т. 5. Материалы III Международного микологического форума; 14–15 апреля 2015 г., Москва, Россия* / под ред. Ю.Е. Дьякова. Москва: Национальная академия микологии; 2015. С.44-46). URL: http://www.mycology.ru/files/cmr2015vol5.pdf [дата обращения: 05.03.2020].

Gavrilova O.P., Skritnika A., Gagkaeva T.Yu. Identification and characterization of spontaneous auxotrophic mutants in *Fusarium langsethiae*. *Microorganisms*. 2017;5(2):E14. DOI: 10.3390/microorganisms5020014

Gerlach W., Nirenberg H.I. The genus *Fusarium* – a pictorial atlas. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.* 1982;209:1-406.

Methodology of state crop variety trials. Second issue. Cereals, groats, legumes, maize, and fodder crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk vtoroy. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury). Moscow: Gosagroprom SSSR; 1989. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Госагропром СССР; 1989). URL: https://docplayer.ru/28203913-Metodika-gosudarstvennogo-sortoispytaniya-selskohozyaystvennyh-kultur.html [дата обращения: 05.03.2020].

Goncharenko A.A. Moscow Breeding Center for Cereals: history, achievements, problems and prospects (Moskovskiy selektsionny tsentr po zernovym kulturam: istoria, dostizheniya, problemy i perspektivy). *Informatsionny vestnik VOGiS = Bulletin of the Vavilov Society of Geneticists and Plant Breeders*. 2005;9(3):324-332. [in Russian] (Гончаренко А.А. Московский селекционный центр по зерновым культурам: история, достижения, проблемы и перспективы. *Информационный вестник ВОГиС*. 2005;9(3): 324-332).

Imathiu S.M., Ray R.V., Back M., Hare M., Edwards S.G. *In vitro* growth characteristics of *Fusarium langsethiae* isolates recovered from oats and wheat grain in the UK. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 2016;51(2):159-170. DOI: 10.1556/038.51.2016.2.1

Imathiu S.M., Ray R.V., Back M.I., Hare M.C., Edwards S.G. A survey investigating the infection of *Fusarium langsethiae* and production of HT-2 and T-2 mycotoxins in UK oat fields. *Journal of Phytopathology*. 2013;161(7-8):553-561. DOI: 10.1111/jph.12105

Isachkova O.A., Ganichev B.L. Sources of economically valuable signs and their combination for breeding naked oat in Western Siberia. *Mezhdunarodny nauchno-issledovatelskiy zhurnal = International Research Journal*. 2013;4-1(11):127-131. [in Russian] (Исачкова О.А., Ганичев Б.Л. Источники хозяйственно ценных признаков и их комплекса для селекции голозерного овса в Западной Сибири. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2013;4-1(11):127-131).

Ivanova Y.S., Fomina M.N. Technological evaluation of grain in collection samples of naked oat in the conditions of Northern forest-steppe of the Tyumen region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;5(60):4-9. [in Russian] (Иванова Ю.С., Фомина М.Н. Технологическая оценка зерна коллекционных образцов овса голозерного в условиях северной лесостепи Тюменской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;5(60):4-9).

Jensen B.D., Knorr K., Nicolaisen M. *In vitro* competition between *Fusarium graminearum* and *Epicoccum nigrum* on media and wheat grains. *European Journal of Plant Pathology*. 2016;146(3):657-670. DOI: 10.1007/s10658-016-0950-6

Kabashov A.D., Kolupaeva A.S., Leybovich Y.G., Razumovskaya L.G., Filonenko Z.V. Preliminary results of hull-less oats breeding. *Selektsiya, semenovodstvo i genetika = Breeding, Seed Production and Genetics*. 2018;4(4):20-24. [in Russian] (Кабашов А.Д., Колупаева А.С., Лейбович Я.Г., Разумовская Л.Г., Филоненко З.В. Предварительные итоги селекции голозерного овса. *Селекция, семеноводство и генетика*. 2018;4(4):20-24). DOI: 10.24411/2413-4112-2018-10003

Kabashov A.D., Mamedov R.Z., Leybovich Ya.G. The actual directions in oats selection at the present stage. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy.* 2013;1(34):25-28. [in Russian] (Кабашов А.Д., Мамедов Р.З., Лейбович Я.П. Актуальные направления в селекции овса на современном этапе. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013;1(34):25-28).

Kosiak B, Torp M, Skjerve E, Andersen B. *Alternaria* and *Fusarium* in Norwegian grains of reduced quality – a matched pair sample study. *International Journal of Food Microbiology.* 2004;93(1):51-62. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.10.006

Lee H.B., Patriarca A., Magan N. *Alternaria* in food: ecophysiology, mycotoxin production and toxicology. *Mycobiology*. 2015;43(2):93-106. DOI: 10.5941/MYCO.2015.43.2.93

Li Y., Wang Z., Beier R.C., Shen J., De Smet D., De Saeger S. et al.. T-2 toxin, a trichothecene mycotoxin: review of toxicity, metabolism, and analytical methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(8):3441-3453. DOI: 10.1021/jf200767q

Loskutov I.G., Blinova E.B., Gavrilova O.P., Gagkaeva T. Yu. The valuable characteristics of oats genotypes and resistance to *Fusarium* disease. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(3):286-294. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Блинова Е.В., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю. Разнообразие культурного овса по хозяйственно ценным признакам и их связь с устойчивостью к фузариозу. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(3):286-294). DOI: 10.18699/VJ16.151

Martin C., Schöneberg T., Vogelgsang S., Mendes Ferreira C.S., Morisoli R., Bertossa M. et al. Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. *Toxins*. 2018;10(1):E47. DOI: 10.3390/toxins10010047

Mazzara M., Paoletti C., Puumalaainen J., Rasulo D., Van Den Eede G. Event-Specific Method for the Quantitation of Maize Line NK603 Using Real-Time PCR –Validation Report and Protocol. EUR 21825. JRC32103. Ispra: European Commission; 2005.

Nikolaev Yu.N., Androsova O.V. Seed production and nurseries in the Russian Federation: analytical statistics (Semenovodstvo i pitomnikovodstvo RF: analiticheskaya statistika). *Vestnik Rosselhozcentra = Bulletin of the Russian Agricultural Center*. 2018;(1):13-16. [in Russian] (Николаев Ю.Н., Андросова О.В. Семеноводство и питомниководство РФ: аналитическая статистика. *Вестник Россельхозцентра*. 2018;(1):13-16).

Oviedo M.S., Sturm M.E., Reynoso M.M., Chulze S.N., Ramirez M.L. Toxigenic profile and AFLP variability of *Alternaria alternata* and *Alternaria infectoria* occurring on wheat. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2013;44(2):447-455. DOI: 10.1590/S1517-83822013000200017

Samson R.A., Hoekstra E.S., Frisvad J.C., Filtenborg O. (eds). Introduction to Food- and Airborne Fungi (revised 6th edition). Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures; 2002.

SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products. Chief Sanitary Inspector of the Russian Federation. Resolution of November 14, 2001, No. 36 "Concerning the introduction of sanitary regulations" (with amendments of July 6, 2011. [in Russian] (СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Главный санитарный врач Российской Федерации. Постановление от 14 ноября 2001 года № 36 «О введении в действие санитарных правил» (с изменениями на 6 июля 2011 года). URL: http://docs.cntd.ru/document/901806306 [дата обращения: 12.02.2020].

Schöneberg T., Kibler K., Wettstein F.E., Bucheli T.D., Forrer H.R., Musa T. et al. Influence of temperature, humidity duration and growth stage on the infection and mycotoxin production by *Fusarium langsethiae* and *Fusarium poae* in oats. *Plant Pathology*. 2019;68(1):173-184. DOI: 10.1111/ppa.12922

Schuhmacher-Wolz U., Heine K., Schneider K. Report on toxicity data on trichothecene mycotoxins HT-2 and T-2 toxins. *EFSA Supporting Publications*. 2010;7(7):65E. DOI: 10.2903/sp.efsa.2010.EN-65

Šliková S., Šrobárová A., Šudyová V., Polišenská I., Gregová E., Mihálik D. Response of oat cultivars to *Fusarium* infection with a view to their suitability for food use. *Biologia.* 2010;65(4):609-614. DOI: 10.2478/s11756-010-0055-1

Stenglein S.A. *Fusarium poae*: a pathogen that needs more attention. *Journal of Plant Pathology.* 2009;91(1):25-36. DOI: 10.4454/jpp.v91i1.621

Tekauz A.B., Mitchell Fetch J.W., Rossnagel B.G., Savard M.E. Progress in assessing the impact of *Fusarium* head blight on oat in western Canada and screening of *Avena* germplasm for resistance. *Cereal Research Communications*. 2008;36:49-56. DOI: 10.1556/CRC.36.2008.Suppl.B.8

Tekle S., Lillemo M., Skinnes H., Reitan L., Buraas T., Bjørnstad Å. Screening of oat accessions for *Fusarium* head blight resistance using spawn-inoculated field experiments. *Crop Science*. 2018;58(1):143-151. DOI: 10.2135/cropsci2017.04.0264

Tihonovich I.A., Provorov N.A. Agricultural microbiology as the basis of ecologically sustainable agriculture: fundamental and applied aspects. *Agricultural Biology.* 2011;46(3):3-9. [in Russian] (Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты. *Сельскохозяйственная биология*. 2011;46(3):3-9).

Torp M., Nirenberg H.I. *Fusarium langsethiae* sp. nov. on cereals in Europe. *International Journal of Food Microbiology*. 2004;95(3):247-256. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.12.014

TR CU 015/2011. Technical Regulations of the Customs Union "On grain safety" with the changes of September 15, 2017. [in Russian] (ТР ТС 015/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности зерна» с изменениями на 15 сентября 2017 г.). URL: http://docs.cntd.ru/document/902320395 [дата обращения: 12.02.2020].

TR CU 021/2011. Council of the Eurasian Economic Commission. Resolution of August 8, 2019, No. 115. Amendments to the Technical Regulations of the Customs Union "On food safety" (TR CU 021/2011). [in Russian] (ТР ТС 021/2011. Совет Евразийской экономической комиссии. Решение от 8 августа 2019 года № 115 «О внесении изменений в технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" [ТР ТС 021/2011]). URL: http://docs.cntd.ru/document/564134628 [дата обращения: 12.02.2020].

Ueno Y. Toxicological features of T-2 toxin and related trichothecenes. *Fundamental and Applied Toxicology*. 1984;4(2, Pt 2):S124-S132. DOI: 10.1016/0272-0590(84)90144-1

Vargach J.I., Golovin S.E., Loskutov I.G. Research on micromycetes in oats (*Avena sativa* L.) under the conditions of Stupino District, Moscow Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):96-105. [in Russian] (Варгач Ю.И., Головин С.Е., Лоскутов И.Г. Изучение микромицетов на овсе посевном (*Avena sativa* L.) в условиях Ступинского района Московской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(3):96-105). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-96-105

Vogelgsang S., Sulyok M., Hecker A., Jenny E., Krska R., Schuhmacher R. et al. Toxigenicity and pathogenicity of *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum* on wheat.

European Journal of Plant Pathology. 2008;122(2):265-276. DOI: 10.1007/s10658-008-9279-0

Yan W., Fregeau-Reid J., Rioux S., Pageau D., Xue A., Martin R. et al. Response of oat genotypes to *Fusarium* head blight in Eastern Canada. *Crop Science*. 2010;50(1):134-142. DOI: 10.2135/cropsci2009.03.0129

Yli-Mattila T., Paavanen-Huhtala S., Jestoi M., Parikka P., Hietaniemi V., Gagkaeva T. et al. Real-time PCR detection and quantification of *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae* in cereal grains in Finland and Russia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2008;41(4):243-260. DOI: 10.1080/03235400600680659

Zhuikova O.A., Batalova G.A. Analysis of the development of main diseases in naked oat varieties in the filmed nursery of the competitive trials at the North-Eastern FASC (Analiz proyavleniya osnovnykh bolezney sortov ovsa plenchatogo pitomnika konkursnogo ispytaniya FANTs Severo-Vostoka). In: G.A. Batalova, E.M. Lisitsyn, T.K. Sheshegova, I.N. Shchennikova, E.I. Utkina (eds). *Proceedings of the V Scientific and Practical Conference "Methods and Technologies in Plant Breeding and Plant Growing"* (*Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rasteniyevodstve"*). Kirov: North-Eastern FASC; 2019. p.21-24. [in Russian] (Жуйкова О.А., Баталова Г.А. Анализ проявления основных болезней сортов овса пленчатого питомника конкурсного испытания ФАНЦ Северо-Востока. В кн: *Материалы V Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве»* / под ред. Г.А. Баталовой, Е.М. Лисицына, Т.К. Шешеговой, И.Н. Щенникова, Е.И. Уткиной. Киров: ФАНЦ Северо-Востока; 2019. С.21-24). URL: http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf [дата обращения: 05.03.2020].

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

Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Маркова А.С., Кабашов А.Д., Лоскутов И.Г. Микобиота зерна селекционных линий овса ФИЦ «Немчиновка» конкурсного сортоиспытания на полях в Московской области в 2019 году. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):134-144. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-134-144

Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Markova A.S., Kabashov A.D., Loskutov I.G. Mycobiota in the grain of the oat breeding lines produced in 2019 in competitive variety trials on the fields of Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):134-144. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-134-144

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/10.30901/2227-8834-2020-2-134-144

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Gavrilova O.P. https://orcid.org/0000-0002-5350-3221
Gagkaeva T.Yu. https://orcid.org/0000-0002-3276-561X
Orina A.S. https://orcid.org/0000-0002-7657-6618
Markova A.S. https://orcid.org/0000-0002-2528-1422
Kabashov A.D. https://orcid.org/0000-0002-7450-3845
Loskutov I.G. https://orcid.org/0000-0002-9250-7225

Евгений Николаевич Седов – ведущий селекционер семечковых культур в России

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-145-155
УДК 634.11:631.52
Поступление/Received: 26.03.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

Evgeny Nikolaevich Sedov: a leading breeder of pome fruit crops in Russia

А. М. ГАЛАШЕВА*, Т. В. ЯНЧУК, Н. Г. КРАСОВА

Всероссийский научно исследовательский институт селекции плодовых культур,
302530 Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина
** galasheva@vniispk.ru*

A. M. GALASHEVA*, T. V. YANCHUK, N. G. KRASOVA

All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding,
Zhilina Village, Orlovsky District, Orel Province 302530, Russia
** galasheva@vniispk.ru*

Евгений Николаевич Седов – доктор сельскохозяйственных наук, академик Российской академии сельскохозяйственных наук, академик Российской академии наук, профессор, заслуженный деятель науки. Крупный ученый-селекционер, автор 90 сортов яблони и груши. Создатель научной школы по приоритетным направлениям селекции семечковых культур:
– создание адаптивных триплоидных сортов яблони с регулярным плодоношением, высокой товарностью плодов и повышенной самоплодностью;
– создание иммунных и высокоустойчивых к парше сортов;
– создание триплоидных сортов, обладающих иммунитетом к парше;
– создание колонновидных сортов для суперинтенсивных садов и разработка основных элементов технологии их возделывания;
– создание сортов яблони с улучшенным биохимическим составом плодов: с повышенным содержанием аскорбиновой кислоты (витамина С) и Р-активных веществ (витамина Р).

Ключевые слова: научная биография, селекция, яблоня, груша.

Acad. Evgeny Nikolaevich Sedov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Full Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Scientist Emeritus, is an outstanding researcher and breeder, author of 90 apple and pear cultivars, founder of a scientific school specializing on priority trends in pome fruit breeding:
– development of adaptable triploid apple cultivars with regular fruiting, high marketability of fruits, and increased self-fertility;
– development of apple cultivars immune or highly resistant to scab;
– development of triploid apple cultivars with immunity to scab;
– development of columnar apple cultivars for super-intensive orchards and main technology elements for their cultivation;
– development of apple cultivars with improved biochemical composition of fruits with higher content of ascorbic acid (vitamin C) and P-active substances (vitamin P).

Key words: scientific biography, breeding, apple, pear.

«Все, чего я добился, стало возможным благодаря искренней помощи со стороны сотен людей, с кем сталкивался в разные периоды жизни. Прежде всего мои учителя в школе, институте, аспирантуре и науке, мои коллеги, соратники и помощники.»
«Сад моей жизни», Седов Е.Н., 1995.

22 февраля 2020 г. исполнилось 90 лет Евгению Николаевичу Седову (рис. 1), крупному ученому-селекционеру по семечковым культурам (яблоне и груше) в России и в мире.

Евгений Николаевич Седов, доктор сельскохозяйственных наук с 1974 г., профессор (1991), избран академиком Российской академии сельскохозяйственных наук в 1990 г., академик Российской академии наук с 2013 г. Заслуженный деятель науки, посвятивший 65 лет трудовой деятельности – научному садоводству или плодоводству. Автор около 90 сортов яблони и груши.

Родился Евгений Николаевич в городе Павловске Воронежской области. Отец Николай Яковлевич занимался сельским хозяйством, воевал, участвовал в Параде Победы в Москве, мама Антонина Емельяновна – учительница начальных классов,.

Со школьных лет Е. Н. Седов любил природу, прогулки в сосновом лесу. Предпочитал читать книги по агрономии, садоводству и овощеводству вместо приключенческих романов. Огромное впечатление в 1933 г. на него во время голода произвела посадка картофельных очистков, из которых выросли полноценные растения. Сеял сам семена дыни возле дома и получал зрелые плоды.

В 1947 г. Евгений Николаевич поступил в Воронежский сельскохозяйственный институт. Будучи студентом, в летнее время работал на полставки лаборантом на опытной станции садоводства при кафедре плодоводства, которую возглавлял профессор Алексей Николаевич Веньяминов – известный селекционер по косточковым культурам (создал более 50 сортов сливы, черешни, абрикоса, вишни и алычи). С А. Н. Веньяминовым Евгений Николаевич познакомился, когда перешел на третий курс. В своей книге «Сад моей жизни» он написал: «Веньяминов – мой учитель! Он оказал на меня глубочайшее влияние, и я имею возможность как бы



Рис. 1. Седов Евгений Николаевич (фото С. А. Корнеевой)
Fig. 1. Evgeny Nikolaevich Sedov (photo by S. A. Korneyeva)

разложить все, что знаю лично, и все, что прочитал у Алексея Николаевича, и не сомневаюсь: он – эпоха в садоводстве!» (Sedov, 1995). В 1952 г. Е. Н. Седовым была опубликована первая научная студенческая работа в журнале «Записки Воронежского сельскохозяйственного института» – «Влияние азотобактера на рост некоторых сельскохозяйственных культур и древесных пород полезащитных полос» (Sedov, 1952).

Кроме А. Н. Веньяминова огромное влияние на формирование дальнейших научных интересов Евгения Николаевича оказал доктор сельскохозяйственных наук, помолог, селекционер Василий Корнеевич Заец. В институте он читал лекции и вел практику по садоводству и агробиологии. После окончания института в 1952 г., по совету В. К. Заеца, Евгений Николаевич поступил в аспирантуру научно-исследовательского института садоводства им. И.В. Мичурина (г. Мичуринск, Тамбовская обл.). Научным руководителем аспиранта Е. Н. Седова стал В. К. Заец. Тема аспирантской работы звучала так: «Изучение избирательности оплодотворения у новых сортов яблони в связи с подбором лучших опылителей»; над этой темой он работал в течение трех аспирантских лет. При выполнении аспирантской работы Е. Н. Седовым были получены гибридные семена, однолетние и двухлетние сеянцы яблони, которые он в 1956 г. привез на Орловскую плодово-ягодную опытную станцию (в настоящее время Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур – ВНИИСПК). Так он начал свою научную деятельность – с должности младшего научного сотрудника плодово-ягодной станции до заместителя директора по научной работе. В настоящее время Евгений Николаевич – главный научный сотрудник лаборатории селекции яблони. Он продолжил дело в изучении и создании сортов своего учителя Заеца Василия Корнеевича, который в 30-х годах XX века работал на Орловской плодово-ягодной станции (Sedov, 1995).

Когда Евгений Николаевич работал на Орловской плодово-ягодной опытной станции в должности заместителя директора по науке, на станцию приезжал известный ученый-биолог, генетик, селекционер плодовых культур Сергей Иванович Исаев. С. И. Исаев, очень внимательно выслушав доклад о научных исследованиях Е. Н. Седова, подвел итог: «Вам надо писать докторскую диссертацию», а потом добавил: «Я еще не знаю, как вы напишите, но говорю заранее, готов быть оппонентом».

Подростком в 1942 г. во время Великой Отечественной войны Евгений Николаевич шел по разбитому городу и зашел в районную библиотеку. Здание библиотеки было разрушено, двери сняты, окна выбиты, книги свалены со стеллажей. На полу много различных художественных книг. Но он обратил внимание на небольшую книгу с цветным рисунком на плотном переплете – С. И. Исаев «Мичуринские сорта плодовых и ягодных культур». В 1995 г. Евгений Николаевич в своей книге «Сад моей жизни» пишет: «Пройдет еще десять лет и станет ясно: селекция – моя жизнь. Пройдет еще немного времени и я познакомлюсь и подружусь с Сергеем Ивановичем Исаевым. Странная штука жизнь!» (Sedov, 1995).

В 1955 г. Е. Н. Седов получил первый сорт яблони ‘Синап орловский’ (рис. 2), скрестив сорта Северный синап × Память Мичурина. В 1979 г. этот сорт с плодами



Рис. 2. Сорт яблони 'Синап орловский' (фото А. М. Галашевой)
Fig. 2. Apple cultivar 'Sinap Orlovsky' (photo by A. M. Galasheva)

позднезимнего срока созревания был принят в Государственное сортоиспытание (ГСИ) и районирован в 1989 г. в Северо-Западном, Средневолжском, Центральном и Центрально-Черноземном регионах России, а также в Белоруссии. Сорт имеет широкое распространение в промышленных садах Орловской, Липецкой, Тульской, Курской и других областях (Sedov, Krasova, 2005b; Sedov, 2019).

С 1956 до 1970 г. в селекции яблони в основном использовались традиционные на тот период времени методы повторной гибридизации и географически отдаленные скрещивания. Евгений Николаевич создал ряд сортов зимнего срока созревания: 'Ветеран', 'Орлик', 'Память воину', 'Орловская заря', и 'Орловское полосатое'(рис. 3) – осеннего срока созревания. В 1974 г., а потом в 1984 г. сорт 'Орловское полосатое' был удостоен золотой медали на Международной выставке в г. Эрфурте (Германия) (Sedov, 2019).

Е. Н. Седовым разработаны новые, инновационные и приоритетные программы по созданию новых сортов плодовых и ягодных культур, которые позволяют объединить и использовать специализацию селекционеров ВНИИСПК и селекционеров других научно-исследовательских институтов и центров России (Sedov, 2005, 2011).

В 1972 г. Е. Н. Седов едет на франко-советский симпозиум по селекции плодовых культур, основное заседание которого проходило на Анжерской опытной станции. Это узкоспециализированное селекционное учреждение, которое вело селекцию яблони на иммунитет к парше и мучнистой росе. На станции Евгению Николаевичу удалось взять черенки иммунных к пар-



Рис. 3. Сорт яблони 'Орловское полосатое' (фото Н. Г. Красовой)
Fig. 3. Apple cultivar 'Orlovskoye Polosatoye' (photo by N. G. Krasova)

ше форм яблони и втайне перевезти через границу. Вскоре Евгения Николаевича вызвали в Москву в Управление по карантину при Министерстве сельского хозяйства СССР, где и заявили, что черенки будут уничтожены, а он строго наказан. Благодаря Дмитрию Ивановичу Тупицыну (в то время заместитель начальника Главного управления садоводства, виноградарства, чая и субтропических культур), черенки вернули (почтой), но Е. Н. Седову объявили выговор. Как сам Евгений Николаевич пишет в своей книге «Сад моей жизни»: «Получив черенки, я рад был получить хоть три выговора» (Sedov, 1995).

С 1977 г. началась активная работа по созданию иммунных к парше сортов яблони. Е. Н. Седов с коллегами В. В. Ждановым и З. М. Серовой успешно начали селекцию на олигогенную устойчивость к парше на искусственном инфекционном фоне (Sedov et al., 1998). Итогом этой работы стал крупный гибридный фонд. В 1977 г. в результате скрещивания одной из привезенных иммунных форм с зимостойким сортом народной селекции ‘Скрыжапель’ был создан новый иммунный к парше сорт яблони ‘Болотовское’.

Впервые Е. Н. Седовым созданы российские иммунные к парше (ген *Vf*) сорта яблони. Сорт яблони ‘Имрус’ (иммунный русский) – первый иммунный к парше сорт яблони (Sedov, 1983; Sedov et al., 2003), который в 1989 г. был принят на ГСИ, а в 1996 г. районирован в Центрально-Черноземном и Центральном регионах России, а также в шести областях Белоруссии. Родительские формы – Антоновка обыкновенная × OR18T13. Сорт (рис. 4) зимний, иммунный, пригоден для садов интенсивного типа, скороплодный, высокоурожайный, имеет плоды с высокими товарными и потребительскими качествами (Sedov, Krasova, 2005a).

Всего во ВНИИСПК создано 32 иммунных к парше сорта яблони, из которых 26 включены в Госреестр. Это – ‘Афродита’, ‘Александр Бойко’, ‘Болотовское’, ‘Вавиловское’, ‘Веньяминовское’ (рис. 5), ‘Восторг’, ‘Гир-



Рис. 4. Сорт яблони ‘Имрус’ (фото А. М. Галашевой)
Fig. 4. Apple cultivar ‘Imrus’ (photo by A. M. Galasheva)



Рис. 5. Сорт яблони ‘Веньяминовское’ (фото Н. Г. Красовой)
Fig. 5. Apple cultivar ‘Veniaminovskoye’ (photo by N. G. Krasova)

лянда' (рис. 10), 'Жилинское', 'Здоровье', 'Ивановское', 'Рождественское' (рис. 6), 'Свежесть', 'Солнышко' и др. Сорта также обладают другими хозяйственно ценными признаками: скороплодностью, высокой урожайностью, десертными вкусовыми качествами плодов, зимостойкостью и засухоустойчивостью. Выделяются среди иммунных к парше сорта с высоким содержанием Р-активных веществ: 'Кандиль орловский', 'Рождественское', 'Солнышко' (Sedov et al., 2008a). Плоды сорта 'Свежесть' (рис. 7) могут сохраняться до июня-месяца. В 2018 г. Е. Н. Седов с коллективом передали в ГСИ новый иммунный летний сорт 'Тихий Дон'.

Под руководством Е. Н. Седова цитологом Г. А. Седышевой создана большая коллекция полиплоидных исходных форм яблони. Самый крупный генофонд гибридов от интервалентных (разнохромосомных) скрещиваний. Выделен целый ряд новых элитных тетраплоидных форм – доноров диплоидных гамет, которые по-



Рис. 6. Сорт яблони 'Рождественское' (фото А. М. Галашевой)
Fig. 6. Apple cultivar 'Rozhdestvenskoye' (photo by A. M. Galasheva)



Рис. 7. Сорт яблони 'Тихий Дон' (фото М. Ф. Цоя)
Fig. 7. Apple cultivar 'Tikhiy Don' (photo by M. F. Tzoy)

зволяют расширять генетический потенциал исходных форм яблони для дальнейшей селекции (Sedov et al., 2008b).

Инновационным прорывом Е. Н. Седова в современной селекции является создание впервые в мире и в России триплоидных сортов яблони от интервалентных скрещиваний 2x × 4x (Sedov et al., 2011; Sedov et al., 2013). Триплоидные сорта яблони регулярно плодоносят, обладают повышенной самоплодностью и имеют плоды высокой товарности. Это сорта ‘Александр Бойко’, ‘Академик Савельев’, ‘Августа’, ‘Бежин луг’, ‘Благодать’, ‘Вавиловское’ (рис. 8), ‘Дарена’, ‘День победы’, ‘Жилинское’, ‘Марс’, ‘Масловское’, ‘Министр Киселев’, ‘Низкорослое’, ‘Орловский партизан’, ‘Память Семакину’, ‘Патриот’ (рис. 9), ‘Рождественское’, ‘Праздничное’, ‘Синап орловский’, ‘Тренер Петров’, ‘Тургеневское’, ‘Юбиляр’, ‘Яблочный Спас’ и др. (Sedov et al., 2017a).

Семь триплоидных сортов яблони (см. рис. 8 и 9) обладают иммунитетом к парше. Семнадцать триплоидных сортов яблони допущены к использованию по Центральной России (Sedov et al., 2011; Galasheva, 2015; Galasheva et al., 2019).



Рис. 8. Сорт яблони ‘Вавиловское’ (фото А. М. Галашевой)
Fig. 8. Apple cultivar ‘Vavilovskoye’ (photo by A. M. Galasheva)



Рис. 9. Сорт яблони ‘Патриот’ (фото А. М. Галашевой)
Fig. 9. Apple cultivar ‘Patriot’ (photo by A. M. Galasheva)

С 1984 г. Е. Н. Седовым ведется объемная работа по созданию колонновидных сортов. Создано семь сортов яблони колонновидного типа – ‘Восторг’, ‘Гирлянда’, ‘Звезда эфира’, ‘Орловская Есения’ ‘Поэзия’, ‘Приокское’, ‘Созвездие’. Они обладают иммунитетом к парше и предназначены для возделывания в суперинтенсивных садах. Сорта ‘Восторг’, ‘Гирлянда’ (рис. 10), ‘Поэзия’, ‘Приокское’, ‘Орловская Есения’ (рис. 11) включены в Госреестр (Sedov et al., 2010; Sedov, 2019). В настоящее время под руководством Евгения Николаевича активно ведутся исследования по созданию сортов, сочетающих иммунитет к парше, триплоидию и колонновидный габитус (Sedov et al., 2017b).

Евгений Николаевич Седов всегда вел и ведет совместную работу с другими научно-исследовательскими институтами и селекционерами. В сотрудничестве с Е. В. Ульяновской из Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства созданы 15 сортов яблони: ‘Василиса’, ‘Кармен’, ‘Марго’, ‘Орфей’, ‘Палитра’, ‘Родничок’, ‘Союз’ ‘Талисман’, ‘Юнона’ и др. (Ulyanovskaya et al., 2009; Ulyanovskaya et al., 2011). Совместно



Рис. 10. Сорт яблони ‘Гирлянда’ (Фото М. Ф. Цоя)
Fig. 10. Apple cultivar ‘Girlyanda’ (photo by M. F. Tzoy)



Рис. 11. Сорт яблони ‘Орловская Есения’ (фото А. С. Корнеевой)
Fig. 11. Apple cultivar ‘Orlovskaya Yesenia’ (photo by S. A. Korneyeva)

с Крымской опытно-селекционной станцией ВИР созданы два сорта груши: ‘Бронзовая’ и ‘Утренняя свежесть’ (рис. 12, 13).

В 2013–2019 гг. во ВНИИСПК заложили сады интенсивного типа площадью около 80 га. В них 95% – сорта Е. Н. Седова: ‘Александр Бойко’, ‘Вавиловское’, ‘Веньяминовское’, ‘Ветеран’, ‘Имрус’, ‘Марс’, ‘Память воину’, ‘Праздничное’, ‘Орлинка’, ‘Орловское полосатое’, ‘Рождественское’, ‘Свежесть’, ‘Синап орловский’, ‘Солнышко’, ‘Тургеневское’, ‘Яблочный Спас’ и другие (Sedov, Krasova, 2000).

Евгений Николаевич – автор 1000 научных статей, опубликованных в России и за рубежом, автор и соавтор 43 монографий. Под редакцией Е. Н. Седова издан уникальный научный труд – «Помология» в 5-ти томах – с подробным описанием всех сортов плодовых и ягодных культур, рекомендованных к возделыванию в нашей стране (Sedov, 2006). В настоящее время готовится к переизданию 1 том «Помологии» – «Яблоня».

В настоящее время Е. Н. Седов – председатель подсекции плодовых растений РАН. Является членом редакционных советов журналов «Садоводство и виноградарство», «Селекция и семеноводство», «Сельскохозяйственная биология», «Аграрный научный журнал».

Евгением Николаевичем получено 52 авторских свидетельства на сорта, 3 патента на изобретения и 50 патентов на селекционные достижения.

Е. Н. Седов вел активную научно-организационную деятельность. В течение 17 лет Евгений Николаевич был членом экспертного Совета ВАК СССР; председателем секции садоводства Российской академии сельскохозяйственных наук; членом Бюро научно-методического Совета по селекционным центрам в области растениеводства; членом Государственной комиссии по сортоиспытанию плодовых и ягодных культур.

В настоящее время Евгений Николаевич является руководителем селекционного центра по плодовым



Рис. 12. Сорт груши ‘Бронзовая’ (фото Е. Н. Седова)
Fig. 12. Pear cultivar ‘Bronzovaya’ (photo by E. N. Sedov)



Рис. 13. Сорт груши ‘Утренняя свежесть’ (фото Е. Н. Седова)
Fig. 13. Pear cultivar ‘Utrennyaya svezhest’ (photo by E. N. Sedov)

и ягодным культурам по Центрально-Черноземному региону.

Е. Н. Седовым создана «Комплексная программа по селекции семечковых культур в России на 2001–2020 годы». Для комплексных исследований в сотрудничестве с другими научно-исследовательскими учреждениями разработаны 9 селекционных программ: «Иммунитет», «Полиплоид», «Плоды и здоровье», «Компакт», «Сортообновление» и другие, которые объединяют всех селекционеров страны.

Каждый год на базе ВНИИСПК по инициативе и при непосредственном участии Е. Н. Седова проводятся всероссийские, международные и научно-практические конференции и совещания по основным направлениям и методам селекции плодовых и ягодных культур.

В Кембридже (Англия) научные труды Е. Н. Седова получили международное признание: Международным Биографическим Центром имя профессора Седова Евгения Николаевича внесено в Международный биографический справочник в 1998 г., а также в 1999 г. ему присвоено звание «Международный Человек Тысячелетия». Е. Н. Седов вошел в число 2000 выдающихся интеллектуалов XX столетия с присуждением диплома и медали.

В 2010 г. Ученым советом Американского Биографического Института Е. Н. Седову присуждена почетная доска «Золотая медаль для России» (в связи с признанием профессионального опыта). В 2012 г. его имя включено в международный Словарь Профессионалов с присвоением именной доски «Ключ к профессиональному успеху».

Еще в 1974 г. Евгений Николаевич был награжден Золотой медалью имени И. В. Мичурина. В 2005 г. удостоен высшей награды Министерства сельского хозяйства – золотой медали «За вклад в развитие АПК России». Результаты научной работы Е. Н. Седова отмечены также золотой и двумя серебряными медалями ВДНХ, медалью «Лауреат ВВЦ», премией имени В.Н. Хитрово.

Евгений Николаевич всегда принимал активное участие в общественной жизни страны. В 1964–1968 гг. избирался членом Президиума Облсовпрофа. С 1969 по 1971 г. был народным депутатом Орловского районного Совета. Избирался народным депутатом Орловского областного Совета в 1975–1977 гг., в 1990–1993 гг. – народным депутатом Российской Федерации

Евгений Николаевич Седов в 1971 и 1981 г. был награжден двумя орденами «Трудового Красного Знамени», в 1995 г. – Орденом Почета, в 2006 г. – орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени».

В 2009 г. за выдающиеся заслуги перед Российской Федерацией и Орловской областью Евгению Николаевичу присвоено звание «Почетный гражданин Орловской области».

Евгений Николаевич – профессор Воронежского государственного аграрного университета. Под его руководством защищены 14 кандидатских и 11 докторских диссертаций: Е. А. Долматов, А. А. Келдибеков, С. А. Корнеева, О. В. Курашев, Н. С. Левгерова, С. А. Макаренко, М. А. Макаркина, У. Д. Мирзахидов, А. Р. Павел, В. И. Павлюк, В. Н. Правдюк, М. А. Раченко, С. В. Резвякова, Г. А. Ренгартен (Туткин), Е. С. Салина, З. М. Серова, Е. В. Ульяновская, Ю. И. Хабаров, Л. В. Хочетлова, и другие. (Sedov, 2019). Часть учеников-сотрудников дальше продолжает работать с ним во ВНИИСПК, а многие продолжают трудиться на благо России в других учреждениях: Волгограде, Екатеринбурге, Иркутске, Кирове, Краснодаре, Москве.

16 апреля 2020 г. президент РФ В. В. Путин подписал указ о награждении Евгения Николаевича Седова орденом «За заслуги перед Отечеством» III степени за большой вклад в развитие науки и многолетнюю плодотворную деятельность.

References/Литература

Galasheva A.M. Brief results on breeding and cultivar study of pome fruit crops (Kratkiye itogi po selektsii i sortoizucheniyu semechkovykh kultur). *Agrobusiness and Ecology*. 2015;1(1):28-31. [in Russian] (Галашева А.М. Краткие итоги по селекции и сортоизучению семечковых культур. *Агробизнес и экология*. 2015;1(1):28-31).

Galasheva A.M., Sedov E.N., Krasova N.G., Yanchuk T.V., Korneyeva S.A. The main apple research of the Department of Breeding, Cultivar Study and Cultivar Agrotechnics of Pome Crops (Osnovnye issledovaniya yabloni otdela selektsii, sortoizucheniya i sortovoy agrotekhniki semechkovykh kultur). *Vestnik IrGSHA = Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy*. 2019;(94):17-25. [in Russian] (Галашева А.М., Седов Е.Н., Красова Н.Г., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Основные исследования яблони отдела селекции, сортоизучения и сортовой агротехники семечковых культур. *Вестник ИрГСХА*. 2019;(94):17-25).

Sedov E.N. Apple breeding and assortment for central regions of Russia. All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (Selektsiya i sortiment yabloni dlya Tsentralnykh regionov Rossii. GNU Vserossiyskiy NII selektsii plodovykh kultur). Orel: VNIISPK; 2005. [in Russian] (Седов Е.Н. Селекция и сортимент яблони для Центральных регионов России. ГНУ Всероссийский НИИ селекции плодовых культур. Орел: ВНИИСПК; 2005).

Sedov E.N. Apple resistance to scab (cultivars and breeding) (Ustoychivost yabloni k parshe [sorta i selektsiya]). Orel: Priokskoye Book Publishers; 1983. [in Russian] (Седов Е.Н. Устойчивость яблони к парше (сорта и селекция). Орел: Приокское книжное издательство; 1983).

Sedov E.N. Breeding and new apple cultivars (Selektsiya i novye sorta yabloni). Orel: VNIISPK; 2011. [in Russian] (Седов Е.Н. Селекция и новые сорта яблони. Орел: ВНИИСПК; 2011).

Sedov E.N. Brief results of apple and pear breeding. My tutors, colleagues and disciples (Kratkiye itogi selektsii yabloni i grushi. Moi uchitelya, kollegi i ucheniki). Orel: VNIISPK; 2019. [in Russian] (Седов Е.Н. Краткие итоги селекции яблони и груши. Мои учителя, коллеги и ученики. Орел: ВНИИСПК; 2019).

Sedov E.N. Influence of *Azotobacter* on the growth of some agricultural crops and woody species in field shelterbelts (Vliyaniye azotobaktera na rost nekotorykh selskokhozyaystvennykh kultur i drevesnykh porod polezashchitnykh polos). *Zapiski Voronezhskogo selskokhozyaystvennogo instituta = Notes of Voronezh Agricultural Institute*. 1952;24(1). [in Russian] (Седов Е.Н. Влияние азотобактера на рост некоторых сельскохозяйственных культур и древесных пород полезащитных полос. *Записки Воронежского сельскохозяйственного института*. 1952;24(1).

Sedov E.N. The oldest pomological institution in Russia (Stareysheye pomologicheskoye uchrezhdeniye

Rossii). Orel: VNIISPK; 2006. [in Russian]. (Седов Е.Н. Старейшее помологическое учреждение России. Орел: ВНИИСПК; 2006).

Sedov E.N. The orchard of my life (Sad moyey zhisni). Orel: VNIISPK; 1995. [in Russian] (Седов Е.Н. Сад моей жизни. Орел: ВНИИСПК; 1995).

Sedov E.N., Krasova N.G. Imrus. In: E.N. Sedov (ed.). *Pomology: In 5 volumes. Vol. 1. Apple* (*Pomologiya: V 5-ti tomakh. T. 1. Yablonya*). Orel: VNIISPK; 2005a. p.220-222 [in Russian] (Седов Е.Н., Красова Н.Г. Имрус. В кн.: *Помология: В 5-ти томах. Т. 1. Яблоня* / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 2005а. С.220-222).

Sedov E.N., Krasova N.G. Low-growing rootstocks as inserts and new apple cultivars of VNIISPK for intensive orchards (Slaboroslye podvoi v kachestve vstavok i novye sorta yabloni VNIISPK dlya sadov intensivnogo tipa). Orel: VNIISPK; 2000. [in Russian] (Седов Е.Н., Красова Н.Г. Слаборослые подвои в качестве вставок и новые сорта яблони ВНИИСПК для садов интенсивного типа. Орел: Издательство ВНИИСПК; 2000).

Sedov E.N., Krasova N.G. Sinap Orlovsky. In: E.N. Sedov (ed.). *Pomology: In 5 volumes. Vol. 1. Apple* (*Pomologiya: V 5-ti tomakh. T. 1. Yablonya*). Orel: VNIISPK; 2005b. p.472-474. [in Russian] (Седов Е.Н., Красова Н.Г. Синап орловский. В кн.: *Помология: В 5-ти томах. Т. 1. Яблоня* / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 2005б. С.472-474).

Sedov E.N., Makarkina M.A., Serova Z.M.., Sokolova S. Ye. Apple tree breeding for increased contents of R-active substances in fruits. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2008a;(3):41-43. [in Russian] (Седов Е.Н., Макаркина М.А., Серова З.М., Соколова С.Е. Селекция яблони на повышенное содержание в плодах Р-активных веществ. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2008а;(3):41-43).

Sedov E.N., Sedysheva G.A., Krasova N.G., Serova Z.M., Yanchuk T.V. Advantages and prospects of new triploid apple varieties for production. *Horticulture and Viticulture*. 2017a;(2):24-30. [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Красова Н.Г., Серова З.М., Янчук Т.В. Достоинства и перспективы новых триплоидных сортов яблони для производства. *Садоводство и виноградарство*. 2017а;(2):24-30). DOI: 10.18454/VSTISP.2017.2.5441

Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M. Apple breeding at the polyploidy level (Selektsiya yabloni na poliploidnom urovne). Orel: VNIISPK; 2008b. [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М. Селекция яблони на полиплоидном уровне. Орел: ВНИИСПК; 2008б).

Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M. Comparative characteristics of triploid apple cultivars of different origin (Sravnitelnaya kharakteristika triploidnykh sortov yabloni raznogo proiskhozhdeniya). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2011;1(80):59-61. [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М. Сравнительная характеристика триплоидных сортов яблони разного происхождения. *Аграрный вестник Урала*. 2011;1(80):59-61).

Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M., Gorbacheva N.G., Melnik S.A. Breeding assessment of heteroploid crosses in the development of triploid apple varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2013;17(3):499-508. [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М., Горбачева Н.Г., Мельник С.А. Селекционная оценка гетероплоидных скрещиваний при создании триплоидных сортов яблони. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(3):499-508).

Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M., Yanchuk T.V. Scab immune, triploid and columnar apple varieties bred at ARRIFCB and breeding prospects. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2017b;48(1):226-231 [in Russian] (Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М., Янчук Т.В. Иммунные к парше, триплоидные и колонновидные сорта яблони ВНИИСПК и перспективы селекции. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2017б;48(1):226-231).

Sedov E.N., Serova Z.M., Korneyeva S.A. Creation of columnar apple varieties. *The Bulletin of Saratov State Agrarian University in honor of N.I. Vavilov*. 2010;(5):24-26. [in Russian] (Седов Е.Н., Серова З.М., Корнеева С.А. Создание колонновидных сортов яблони. *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*. 2010;(5):24-26).

Sedov E.N., Zhadanov V.V., Makarkina M.A., Serova Z.M. Economic, biological and biochemical assessment of new apple cultivars immune to scab (Khozyaystvenno-biologicheskaya i biokhimicheskaya otsenka novykh immunnykh k parshe sortov yabloni). *Horticulture and Viticulture*. 2003;(1):13-16. [in Russian] (Седов Е.Н., Жданов В.В., Макаркина М.А., Серова З.М. Хозяйственно-биологическая и биохимическая оценка новых иммунных к парше сортов яблони. *Садоводство и виноградарство*. 2003;(1):13-16).

Sedov E.N., Zhdanov V.V., Serova Z.M., Rezvyakova S.V. Intensification and acceleration of apple breeding process (Intensifikatsiya i uskoreniye selektsionnogo protsessa yabloni). *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1998;(5):43-45. [in Russian] (Седов Е.Н., Жданов В.В., Серова З.М., Резвякова С.В. Интенсификация и ускорение селекционного процесса яблони. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 1998;(5):43-45).

Ulyanovskaya E.V., Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M. New scab immune apple cultivars and forms bred in SKZNIISiV jointly with VNIISPK (Novye immunnye k parshe sorta i formy yabloni selektsii SKZNIISIV sovmestno s VNIISPK). In: *Methods and regulations for optimizing the structural elements of agrocoenoses and managing the realization of the productive potential of plants* (*Metody i reglamenty optimizatsii strukturnykh elementov agrotsenozov i upravleniya realizatsiyey produktsionnogo potentsiala rasteniy*). Krasnodar; 2009. p.32-36. [in Russian] Ульяновская Е.В., Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М. Новые иммунные к парше сорта и формы яблони селекции СКЗНИИСИВ совместно с ВНИИСПК. В кн.: *Методы и регламенты оптимизации структурных элементов агроценозов и управления реализацией продукционного потенциала растений*. Краснодар; 2009. С.32-36).

Ulyanovskaya E.V., Suprun I.I., Sedov E.N., Sedysheva G.A., Serova Z.M. Creation of the apple-tree genotypes immune to scab and with complex of valuable agrobiological traits. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2011;10(4):14-30. [in Russian] (Ульяновская Е.В., Супрун И.И., Седов Е.Н., Седышева Г.А., Серова З.М. Создание иммунных к парше генотипов яблони с комплексом ценных агробиологических признаков. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2011;10(4):14-30).

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

Галашева А.М., Янчук Т.В., Красова Н.Г. Евгений Николаевич Седов – ведущий селекционер семечковых культур в России. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):145-155. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-145-155

Galasheva A.M., Yanchuk T.V., Krasova N.G. Evgeny Nikolaevich Sedov: a leading breeder of pome fruit crops in Russia Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):145-155. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-145-155

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/10.30901/2227-8834-2020-2-145-155

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Galasheva A.M. https://orcid.org/0000-0001-8795-9991
Yanchuk T.V. https://orcid.org/0000-0003-4077-7095
Krasova N.G. https://orcid.org/0000-0001-7896-0149

Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166
УДК 631.52
Поступление/Received: 11.04.2020
Принято/Accepted: 09.06.2020

А. В. СОЛДАТЕНКО [1], Ф. Б. МУСАЕВ [1], Д. В. СОКОЛОВА [2]*

*[1] Федеральный научный центр овощеводства,
143080 Россия, Московская обл., Одинцовский р-н,
п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14*
✉ *musayev@bk.ru*

*[2] Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42, 44*
* ✉ *dianasokol@bk.ru*

The 100th anniversary of the Federal Scientific Vegetable Center, the leader of Russian scientific vegetable growing

A. V. SOLDATENKO [1], F. B. MUSAEV [1], D. V. SOKOLOVA [2]*

*[1] Federal Scientific Vegetable Center,
14 Selektsionnaya St., Odintsovo District,
Moscow Province 143072, Russia*
✉ *musayev@bk.ru*

*[2] N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia*
* ✉ *dianasokol@bk.ru*

Коллектив Федерального научного центра овощеводства (ФНЦО) в текущем году отмечает 100-летие со дня его основания. Основоположником учреждения, которое берет начало от Грибовской овощной опытной станции, является профессор С. И. Жегалов. Под его руководством станция быстро развивалась, за короткий период времени (1920–1927) на станции были созданы и улучшены 74 сорта наиболее востребованных овощных культур, ряд сортов цветочных культур. Почти 30 лет (1937–1966) возглавляла станцию академик Е. И. Ушакова. В этот период нашли развитие работы плеяды выдающихся ученых-селекционеров: А. В. Алпатьева, С. П. Агапова, Е. М. Поповой, А. Д. Плинки, Ю. А. Кобяковой и других. В 1971 году Грибовская станция была преобразована во Всесоюзный научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК). Большой вклад в укрепление материально-технической базы института внес академик П. Ф. Сокол. Были построены новые корпуса, расширена опытно-производственная сеть. В годы руководства институтом академика РАН В. Ф. Пивоварова (1992–2018), несмотря на трудности, связанные с реорганизацией и финансово-политическим положением в стране, коллектив добился значимых результатов. В начале 1990-х годов свыше 130 сортов института были включены в Госреестр РФ и занимали более 50% площади овощных посевов в стране. В 2017 году на базе института был создан Федеральный научный центр овощеводства, в состав которого также были включены ВНИИ овощеводства и семь опытных станций, расположенных в различных регионах РФ. К настоящему времени центр является оригинатором более 800 сортов и гибридов, ведется первичное семеноводство, производятся оригинальные и репродукционные семена.

Ключевые слова: овощеводство, новые сорта, селекция, семеноводство, история, станция, институт, ученые.

This year, the staff of the Federal Scientific Vegetable Center (FSVC) celebrates their 100th anniversary. Prof. S. I. Zhegalov was the recognized founder of the institution, which was reorganized from Gribovo Vegetable Experimental Station. Its team started with 14 employees, and the experimental crop area was slightly less than 4 hectares. In a short period of time (1920 to 1927), 74 cultivars of the most popular vegetable crops and a number of flower crop varieties were developed and improved. The second period of the Station's development (1937 to 1966) was associated with the name of Acad. E. I. Ushakova. During this period, a pleiad of talented scientific plant breeders emerged and thrived: A. V. Alpatyev, S. P. Agapova, E. M. Popova, A. D. Plinka, Yu. A. Kobyakova, and others. In 1971, Gribovo Experimental Station was transformed into the All-Union Scientific Research Institute for Breeding and Seed Production of Vegetable Crops (VNIISSOK). The Institute was headed by Acad. P. F. Sokol. Under his leadership, capacity building and logistic support of the Institute were promoted: new facilities were built, and the experimental production network was expanded. Despite the difficulties associated with the reorganization and the financial and political situation in the country in 1992–2017, the staff achieved significant results during the years of the directorship by Acad. V. F. Pivovarov. New cultivars were developed to meet the demand; they occupied more than 50% of the crop area under vegetables across the country. Each year, the Institute produced 200–300 tons of elite and cultivar seeds. In 2017, the Institute was merged into the Federal Scientific Vegetable Center as the keystone element. The Center also incorporated the All-Russian Research Institute of Vegetable Production and seven experiment stations throughout the Russian Federation. The Institute has been successfully cooperating with the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR) for many years, exchanging germplasm materials and experience, and jointly developing vegetable cultivars.

Key words: vegetable growing, new cultivars, plant breeding, seed production, history, station, institute, scientists.

В текущем 2020 году овощеводы страны отмечают знаменательное событие – Федеральному научному центру овощеводства (ФНЦО) исполняется 100 лет со дня основания. Сегодняшний ФНЦО является преемником Всероссийского НИИ селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК), который, в свою очередь, берет начало от Грибовской овощной селекционной опытной станции. История этого старинного науч-

ного учреждения уходит глубоко в прошлое, к истокам создания Советской России. Молодое государство испытывало острую потребность в сортах и семенах для ведения огородничества. Отечественная селекция садово-огородных культур практически отсутствовала, а огородничество в основном базировалось на местных генетически разнородных сортопопуляциях.

Профессор Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева С. И. Жегалов возглавил новое, еще не освоенное научное направление – работу по селекционно-генетическому изучению садово-огородных растений. Его приятель и единомышленник, выдающийся ботаник-селекционер Н. И. Вавилов в те годы ведет большую работу по сбору коллекции культурных растений и семеноводству хлебных злаковых культур в Отделе прикладной ботаники Сельскохозяйственного ученого комитета. Они были знакомы еще с 1911 года, со времени преподавания на Высших женских (Голицынских) сельскохозяйственных курсах дисциплин «Селекция» и «Иммунитет растений». Первые полевые опыты по изучению иммунитета растений Н. И. Вавилов проводил в питомниках, развернутых совместно с профессором С. И. Жегаловым. Два известных ученых возглавили оргкомитет III Всероссийского съезда по селекции и семеноводству, проходившего в 1920 году в Саратове, где Н. И. Вавилов впервые изложил для научной публики «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости».

Под руководством С. И. Жегалова в 1920 году организовывается первая в стране Грибовская овощная селекционная опытная станция, расположенная в Осорьгинском районе (ныне Одинцовский) Московской области. Вначале это был небольшой земельный участок: площадь первых селекционных посевов составляла около 800 кв. саженей, а численность сотрудников – всего 14 человек, большинство из которых явились слушателями Голицынских женских сельскохозяйственных курсов (рис. 1 и 2). В те тяжелые годы хозяйственной разрухи население было лишено семян для ведения личного подсобного хозяйства. Первоначальное назначение станции – массовое размножение огородных семян.



Рис. 1. Первые опыты на Грибовской станции (1924 г.)
Fig. 1. The first experiments at Gribovo Station (1924)



Рис. 2. Первый коллектив Грибовской станции во главе с С. И. Жегаловым
Fig. 2. The first team of Gribovo Station, headed by S. I. Zhegalov

Отсутствие качественных сортовых семян для размножения усложняло работу. Поэтому процесс начинали со сбора исходного селекционного материала, куда входили как местные сортопопуляции, так и иностранные сорта. Были совершены несколько экспедиций по сбору образцов огородных культур: лука, огурца и других. На начальных этапах работы возникал ряд научных вопросов. Методические вопросы составляли особую важность: направление и цели селекционного отбора, приемы учета полезных признаков, ведение элитного семеноводства и другие. На первых этапах работы преобладал биометрический метод (Zhegalov, 1925). Постепенно была освоена техника и учет хозяйственных и морфологических признаков, подсчет варьирования сортовых признаков, выявление корреляции между ними (рис. 3).

димости создания сортов для овощеводства защищенного грунта. За «жегаловский» период (1920–1927) на Грибовской станции были созданы и улучшены 74 сорта различных овощных культур, ряд сортов цветочных культур. Отдельные сорта из этого списка – репа 'Петровская', сорта овощного гороха 'Жегалова 112', 'Неистощимый 195' и др. – возделываются до сих пор.

В 1923 году профессор кафедры генетики и селекции Тимирязевской сельскохозяйственной академии С. И. Жегалов издает первое профильное учебное пособие «Введение в селекцию сельскохозяйственных растений». Книга была посвящена теоретическому обоснованию приемов селекционной работы, дополнена богатым экспериментальным материалом по практической селекции на Грибовской станции; к настоящему времени переиздана в четвертый раз (Zhegalov, 2006).



Рис. 3. Сотрудники Грибовской станции производят учет семенников свеклы (1930 г.)

Fig. 3. Employees of Gribovo Station are measuring seed beet plants (1930)

Имена «первопроходцев» работ по селекции овощных культур на станции, равно как и в стране, вписаны в историю отечественного овощеводства: С. И. Жегалов, В. В. Ордынский, Е. М. Попова, В. Т. Козлов, М. А. Протасов, М. В. Соломина, Р. А. Леман, Е. В. Штуцер, А. П. Буланже, Е. И. Михайлова, А. С. Солодовникова, М. В. Тихомирова, Е. М. Андрианова, К. Я. Жмакина, Л. Н. Грязнова-Губина.

Грамотно организованные начальные научные исследования, глубокий анализ полученных результатов стали основой последующих селекционных работ, которые не потеряли свою актуальность до сегодняшнего дня.

Одной из первых работ на станции стала селекция овощного гороха, которую вел сам С. И. Жегалов. Путем изучения характера наследования признаков сотрудники станции проводили подбор родительских пар для скрещивания. Отбор желаемых форм велся с учетом доминирования признаков и их хозяйственной ценности. Параллельно развивается селекция капусты белокочанной под руководством Е. М. Поповой. Селекционные участки стали выносить за территорию станции, на Люберецкие поля орошения. С самого начала организации станции также велась и селекция лука, возглавляемая В. В. Ордынским.

Первые работы по гетерозису овощных культур были начаты С. И. Жегаловым. Обозначены вопросы о необхо-

Дальнейшее развитие Грибовской овощной опытной станции тесно связано с именами талантливых ученых-селекционеров А. В. Алпатьева, С. П. Агапова, А. Д. Плинки, Ю. А. Кобяковой. В период с 1937 по 1966 год руководство станцией возглавляла блестящий организатор, выдающийся ученый Е. И. Ушакова. Она стала первой женщиной – академиком Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук (рис. 4).

На плечи ученых того периода легли наиболее тяжелые годы военного лихолетья. Молодые мужчины – сотрудники станции были мобилизованы в ряды Красной армии. Это талантливые селекционеры Д. Н. Бровцин и Р. Е. Химич, семеноводы С. П. Смолин, Э. М. Минухин и Т. В. Алексеев, рабочие И. И. Волченков, И. С. Захаров, И. Н. Хренков и другие. Женщины на многих участках работы заменили ушедших на фронт мужчин. Осенью 1941 года станцию отделяли от линии фронта всего 10–15 км. Но работа не была прекращена, семенники и маточники были собраны буквально с прифронтовых полей. Весь семенной фонд был эвакуирован и сохранен, продолжалась активная селекционная работа.

В годы войны был районирован ряд широко распространившихся и популярных у населения сортов различных овощных культур: капусты белокочанной 'Белорусская 455', 'Амагер 611', свеклы столовой 'Бордо 237', моркови 'Нантская 4', огурца 'Муромские 36', 'Вязниковские 37' и другие. Также было заготовлено



Рис. 4. Академик Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени Ленина (ВАСХНИЛ) Е. И. Ушакова (справа)

Fig. 4. Acad. E. I. Ushakova, full member of the Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL) (on the right)

60 тонн элитных и 300 тонн сортовых семян, что сыграло исключительную роль в обеспечении фронта и тыла овощной продукцией (Ershov, 1995). Правительство страны высоко оценило труды овощеводов в этот период. Группа ученых Грибовской станции Е. И. Ушакова, А. В. Алпатьев, С. П. Агапов и Е. М. Попова в 1946 году были награждены Государственной премией СССР за выдающиеся достижения в селекции и семеноводстве овощных культур (рис. 5).

К этому времени были четко определены основные направления исследований и начали формироваться научные школы. Академик ВАСХНИЛ А. В. Алпатьев более полувека руководил исследованиями по селекции пасленовых культур (рис. 6). В результате многолетних плодотворных трудов по созданию скороспелых, холодостойких, детерминантных форм томата, широкому применению метода отдаленной гибридизации культура значительно продвинулась на север – в Центральную Нечерноземную зону и Сибирь (Alpatyev, 1981). Его последователи И. Ю. Кондратьева, М. И. Мамедов и О. Н. Пышная также добились значительных достижений в селекции пасленовых овощных культур. Вслед за томатом в центральные и северные районы страны были внедрены сорта и гетерозисные гибриды перца и баклажана (Pyshnaya et al., 2012; Mamedov et al., 2015).

Основателем научной селекции капустных овощных культур по праву считается Е. М. Попова, возглавлявшая это направление на Грибовской станции в течение более 40 лет. Сорта белокочанной капусты ‘Июньская’, ‘Стахановка’, ‘Слава 1305’, ‘Слава Грибовская 231’, ‘Подарок’, ‘Зимовка’ и др. составляют «Золотой фонд» отечественной селекции и до сих пор пользуются спросом у населения. Они сочетают в себе хорошие вкусовые качества с широкой адаптивной способностью, что позволяет расширить ареал их возделывания. Работу продолжили ученики Елены Михайловны – Т. В. Смолина, С. И. Савина, И. В. Костецкая. Позднее, с подачи И. Е. Китаевой, активно начала развиваться гетерозисная селекция капусты. Вместе с И. М. Колесниковым и коллегами из МСХА имени К. А. Тимирязева она создала ряд гетерозисных гибридов капусты белокочанной ‘F_1 Альбатрос’, ‘F_1 Лежкий’, ‘F_1 Ямал’, ‘F_1 Соло’. В. И. Старцевым и Л. Л. Бондаревой продолжена селекция не только белокочанной капусты, но и разновидностей капусты (Startsev, Bondareva, 2011; Bondareva, 2015).

Селекция луковых культур, начатая В. В. Ордынским в 20-е годы прошлого столетия, по сегодняшний день ведется успешно. Трудами ряда талантливых ученых А. Д. Плинки, И. И. Ершова, Ю. В. Абрахиной, Е. И. Лукониной, В. П. Никульшина и других в прошлом, а также А. Ф. Агафонова, Л. И. Герасимова, В. В. Логуновой и других в настоящее время, создана серия сортов репчатого лука с качественным биохимическим составом и длительной сохранностью, сорта озимого чеснока с высокой зимостойкостью и болезнеустойчивостью. Молодыми учеными Л. В. Кривенковым, Т. М. Серединым активно ведется селекция на улучшение биохимического и минерального состава лука и чеснока с применением современных биотехнологических методов (Agafonov, 2012; Golubkina et al., 2019).

Значительные результаты получены в селекции бобовых овощных культур, начатой С. И. Жегаловым, Д. Н. Бровцыным, В. К. Соловьевой, А. С. Афанасьевой, З. В. Дворниковой. Впервые в мире И. А. Поповой была создана детерминантная усатая форма овощного гороха: тем самым была решена проблема полегаемости растений. Следующее поколение ученых – сотрудников института, таких как Я. Я. Полунин, В. А. Епихов, Е. П. Пронина, на этой основе вывело ультраранние высокопродуктивные сорта овощного гороха ‘Усатый 5’, ‘Дарунок’ (Pronina et al., 2009). К настоящему времени в лаборатории получено около ста сортов гороха, пригодных для механизированной уборки, скороспелые сорта фасоли сахарного типа с верхушечным плодоношением, болезнеустойчивые сорта овощных бобов (Ushakov et al., 2014; Antoshkin et al., 2014).

Талантливый ученый-селекционер О. В. Юрина определила основные направления селекции тыквенных культур. Трудами поколения сотрудников – Ю. А. Кобяковой, А. Д. Якимович, А. В. Федорченко, А. Т. Лебедевой, И. В. Ермоленко – выведена серия раннеспелых и болезнеустойчивых сортов огурца ‘Муромский 36’, ‘Вязниковский 37’, ‘Изящный’ и др., кабачка – ‘Грибовский 37’, ‘Ро-



Рис. 5. **Лауреаты Государственной премии СССР 1946 года (слева направо): Е. И. Ушакова, С. П. Агапов, Е. М. Попова и А. В. Алпатьев**

Fig. 5. **Winners of the USSR State Prize in 1946 (from left to right): E. I. Ushakova, S. P. Agapov, E. M. Popova, and A. V. Alpatyev**



Рис. 6. **Академик ВАСХНИЛ А. В. Алпатьев**

Fig. 6. **Acad. A. V. Alpatyev, full member of the Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL)**

лик'. Более поздние достижения уже представлены гетерозисными гибридами огурца: 'Дебют F_1', 'Катюша F_1', 'Крепыш F_1', 'Красотка F_1', 'Брюнет F_1', уникальными сортами тыквы 'Конфетка', 'Премьера', 'Москвичка' и др. (Korottseva, Khimich, 2013; Khimich et al., 2016).

Родоначальником работ по столовым корнеплодам на станции считается С. П. Агапов, руководивший лабораторией более 25 лет. Коллективом талантливых селекционеров – П. Ф. Тереховым, А. Н. Фроловой, И. М. Косаковским, Н. А. Рабунцом – было создано около 30 различных сортов корнеплодных культур, в том числе морковь 'Нантская 4', свекла 'Бордо 237' и 'Несравненная А-463', репа 'Петровская 1', широко возделываемые по настоящее время. Дальнейшее развитие работ связано с именами М. И. Федоровой, М. С. Бунина, В. П. Бушкова, создавших серию сортов редиса и пастернака, введших в культуру дайкон, салатную репу, листовую репу (Bunin, Fedorova, 2000; Fedorova et al., 2019).

Нужно отметить, что за все время деятельности Грибовской станции – ВНИИССОК, ученые института тесно сотрудничали с коллегами из Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства имени Н.И. Вавилова (ВИР). Совместная научная работа, начатая еще С. И. Жегаловым и Н. И. Вавиловым,

в дальнейшем была расширена и продолжается до сих пор. Этому также способствовал Д. Д. Брежнев, который в тридцатые годы возглавлял Грибовскую станцию, а затем перешел на работу в ВИР. Как руководитель отдела овощных культур, а затем в должности директора института Дмитрий Данилович долгие годы поддерживал творческие связи с Грибовской станцией (Burenin, 2015). Селекционеры-овощеводы имели возможность пользоваться коллекцией генетических ресурсов растений при создании новых сортов. Долгие годы отдел овощных культур возглавлял доктор сельскохозяйственных наук В. И. Буренин. Под его руководством шла плодотворная работа по обмену генетическим материалом с селекционерами из ВНИИССОК. Кураторы генетических коллекций ВИР, такие как Л. В. Сазонова, И. Б. Гаранько, Л. И. Шашилова и другие, принимали активное участие в селекционной работе. Ныне отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур ВИР возглавляет А. М. Артемьева. Молодой, работоспособный коллектив поддерживает традиции, расширяет творческие связи, продолжает активное сотрудничество с ФНЦО.

К 50-летнему юбилею станции было создано 240 сортов различных овощных культур, 90 из которых были районированы в разных регионах страны. Сортами селекции Грибовской овощной станции были заняты 26% площадей овощных культур в стране. За достигнутые успехи в селекции и семеноводстве Указом Президиума Верховного Совета СССР Грибовская овощная опытная станция была награждена орденом Трудового Красного Знамени (рис. 7).

лекции. Разработаны экспресс-методы оценки растений томата и огурца на теневыносливость, холодостойкость, метод определения остаточных количеств поллютантов в овощной продукции, применяется эколого-географический фактор как для ускорения селекции, так и для выявления адаптивного потенциала генотипа. Одновременно усиливается материально-техническая база института – строятся новые корпуса, создается широкая сеть опытных станций и опорных пунктов по всей территории СССР, а также в Республике Куба (рис. 8). В 1975 году организовывается лаборатория экологии овощных растений. Под руководством Т. А. Зиминой ведется широкий эколого-географический эксперимент с овощными культурами. Параллельно создаются сорта овощных культур для регионов и стран, входящих в опытную сеть: Республики Куба, Азербайджана, Узбекистана, Украины и др. В дальнейшем эти работы успешно продолжатся под руководством В. Ф. Пивоварова и Е. Г. Добруцкой, создается школа экологической селекции (рис. 9) (Pivovarov, 2000, 2007; Dobrutskaya, 2004; Pivovarov, Dobrutskaya, 2009). В 1974 году создается селекционный центр по овощным культурам, курирующий данную отрасль в Нечерноземной зоне РСФСР.

В связи с распадом Советского Союза в 1992 году ВАСХНИЛ преобразовывается в РАСХН; соответственно ВНИИССОК из Всесоюзного преобразовывается во Всероссийский институт. В том же году руководство институтом возлагается на В. Ф. Пивоварова. Несмотря на трудности, связанные с реорганизацией и финансово-политическим положением в стране, в 1990-е годы кол-



Рис. 7. Грибовская станция отмечает свой пятидесятилетний юбилей (1970 г.)
Fig. 7. Gribovo Station celebrates its fiftieth anniversary (1970)

В 1971 году начинается новый этап развития Грибовской станции – она преобразовывается во Всесоюзный научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК). Директором вновь созданного института становится академик ВАСХНИЛ П. Ф. Сокол. Наступает период развития новых направлений и достижений. Расширяется набор культур для практической селекции – более 40 видов, разрабатываются новые методы селекции и семеноводства. С их применением получены новые генетически отдаленные линии лука репчатого, созданы гомозиготные линии моркови для гетерозисной се-

лектив добивается значимых результатов. Получены первые удвоенные гаплоидные растения моркови и капусты через культуру пыльников (Taganov, 1991), установлены особенности наследования ряда селекционно важных признаков, разработаны методы создания исходных форм моркови, лука, салата как генетических источников ценных признаков (Timin, Vasilevsky, 1995; Timin, 2005). За данные разработки профессор Н. И. Тимин награжден золотой медалью имени Н. И. Вавилова (рис. 10). Разработаны и модифицированы методы сортовой идентификации на основе электрофореза и хроматографии запасных белков, в практику селекции



Рис. 8. Строительство новых корпусов в поселке Грибово (60–70-е годы прошлого века)
Fig. 8. New buildings under construction in the settlement of Gribovo (1960–1970s)



Рис. 9. Профессор Е. Г. Добруцкая (в центре) с учениками и единомышленниками (2005 г.)
Fig. 9. Prof. E. G. Dobrutskaya (in the center) with her disciples and associates (2005)



Рис. 10. Прием полевых опытов. Профессор Н. И. Тимин (в белой кепке) (2010 г.)
Fig. 10. Prof. N. I. Timin (in a white cap) inspecting field experiments (2010)

и семеноводства овощных культур внедрен экспресс-метод геномной идентификации на основе молекулярных маркеров. В этот период ежегодно институт производил 200–300 тонн элитных и сортовых семян. Свыше 130 сортов института включены в Госреестр РФ и занимали более 50% площади овощных посевов в стране.

В XXI веке коллектив института остается верным своим научным традициям, развивает и усиливает свою научную школу, теоретические и методические исследования. Работа проводится по более чем 80 видам овощных, пряно-вкусовых и цветочных культур. Широко ведется интродукция редких и нетрадиционных растений в культуру. Растет требование к качеству овощной продукции, целебное значение которой выдвигается на передний план. Разработаны методы оценки и отбора овощных культур с высокой антиоксидантной активностью для создания функциональных пищевых продуктов. Учитывая важное социально-экономическое значение данных работ, группа ученых ВНИИССОК – П. Ф. Кононков, В. Ф. Пивоваров, В. К. Гинс, М. С. Гинс – удостоена Государственной премии РФ по науке и технике за 2003 год. Дальнейшее развитие этих работ, выражающееся в разработке полного цикла производства функциональных продуктов питания от создания сорта и сортовой технологии до проведения медико-биологических исследований и регистрации, также не осталось без внимания со стороны Правительства страны. Вышеназванная группа ученых, наряду с пятью сотрудниками ВСТИСП, ВНИИМЗ, ВИМ, удостоена премии Правительства РФ в области науки и техники за 2013 год (рис. 11).

Для института 2017 год стал началом нового витка развития. На базе ВНИИССОК создается Федеральный научный центр овощеводства (ФНЦО), в который также вошли ВНИИ овощеводства и еще семь опытных станций. Руководство вновь созданного центра возглавил воспитанник ВНИИССОК А. В. Солдатенко. Определены следующие перспективные направления развития научных исследований:

1. Проведение фундаментальных и поисковых научных исследований в области овощеводства и бахчеводства, способствующих технологическому, экономическому и социальному развитию отрасли и сельского хозяйства в целом.

2. Научное обоснование методологии селекции овощных и бахчевых культур, использования методов биотехнологии, цитологии в селекционном процессе для обеспечения продовольственной, экономической и экологической безопасности страны, импортозамещения, удовлетворения потребностей населения в овощных и бахчевых культурах.

3. Разработка ресурсосберегающих, экологически безопасных, высокоточных технологий возделывания новых сортов и гибридов, учитывающих видовые и сортовые особенности культур в овощеводстве и бахчеводстве, и разработка функциональных продуктов питания.

Для достижения поставленных задач в селекции широко используются методы молекулярной генетики, биотехнологии, иммунитета, экологии, физиологии и биохимии растений (Pivovarov et al., 2018; Soldatenko et al., 2019). Преимущество отдается гетерозисной селекции овощных культур, для которой необходимо создание гомозиготных линий. Разрабатываются технологии получения удвоенных гаплоидов в культуре микроспор. В практической селекции капусты, лука, огурца, моркови, редиса и других видов овощных культур успешно применяется сочетание биотехнологических и классических методов (Vjurtts et al., 2017; Domblides et al., 2019).

За свою 100-летнюю трудовую историю сотрудники Грибовской овощной станции, ВНИИССОК, ФНЦО внесли огромный вклад в развитие отечественного овощеводства. На базе института впервые были созданы детерминантные холодостойкие, партенокарпические формы томата; гибриды огурца с комплексной устойчивостью болезням в сочетании с плодами без горечи и высокими засолочными качествами; неосыпающиеся раннеспелые формы овощного гороха; формы растений фасоли с верхушечным плодоношением и пригодные к механизированной уборке; оригинальные формы перца сладкого с ЦМС, источники ультраскороспелости, высокого содержания витамина С, бета-каротина, с толщиной перикарпия до 7–9 мм; односемянные и одноростковые формы свеклы столовой с ядерной ЦМС; гетерозисные гибриды разновидностей капусты: белокочанной, китайской, савойской, кольраби с ком-



Рис. 11. Лауреаты Государственной премии и премии Правительства РФ за 2013 год (слева направо): М. С. Гинс, В. К. Гинс, П. Ф. Кононков, В. Ф. Пивоваров

Fig. 11. Winners of the State Prize and the Prize of the Government of the Russian Federation in 2013 (from left to right): M. S. Gins, V. K. Gins, P. F. Kononkov, V. F. Pivovarov



Рис. 12. Коллектив Федерального научного центра овощеводства (2019 г.)

Fig. 12. The staff of the Federal Scientific Vegetable Center (2019)

плексной устойчивостью к патогенам; ряд острых, лежких сортов лука с высоким содержанием сухого вещества (до 20%). Создан широкий ассортимент зеленных и пряно-вкусовых культур, интродуцированых из других регионов и стран; введены в культуру нетрадиционные и редкие растения: дайкон, стахис, якон, монарда, хризантема овощная, водяной кресс и другие (Soldatenko, Pyshnaya, 2018; Soldatenko, Musaev, 2018).

К настоящему времени в Центре получено более 800 сортов и гибридов, 575 из которых по 118 культурам включены в Госреестр селекционных достижений РФ. Ежегодно проводится первичное семеноводство более чем 140 сортов и гибридов по 60 овощным культурам, производится 7–10 тонн оригинальных и 250–400 тонн репродукционных семян в год.

Сегодня ФНЦО является научным центром, курирующим отрасль овощеводства во всей России и СНГ. Центр и восемь его филиалов расположены по всей территории страны.

В головном предприятии и филиале ВНИИО проводятся ежегодные международные научно-практические конференции по различным тематикам отрасли. На базе ФНЦО создана и функционирует Академия нетрадиционных и редких растений (АНИИР), ежегодно она проводит по два международных научных форума в различных регионах РФ и стран СНГ. Ведется широкая издательская деятельность, выпускаются индексируемые в РИНЦ периодические журналы: «Известия ФНЦО» и входящий в список ВАК журнал «Овощи России».

С 1962 года институт ведет обучение в аспирантуре, с 2001 года организована докторантура, где уже прошли подготовку более 400 человек. Более 300 из них успешно защитили кандидатские и докторские диссертации. На базе Центра ежегодно проходят магистерское обучение и студенческую производственную практику десятки студентов. На ежегодно проводимых курсах апробаторов-семеноводов повышают квалификацию десятки специалистов из различных регионов РФ и СНГ.

Поздравляем коллектив Федерального научного центра овощеводства (рис. 12) со 100-летним юбилеем, желаем всем сотрудникам крепкого здоровья и новых научных свершений!

References/Литература

Agafonov A.F. Status and trends of breeding and seed production of onion crops. *Vegetable Crops of Russia.* 2012;3(16):12-19. [in Russian] (Агафонов А.Ф. Состояние и основные направления селекции и семеноводства луковых культур. *Овощи России.* 2012;3(16):12-19).

Alpatyev A.V. Tomatoes (Pomidory). Moscow: Kolos; 1981. [in Russian] (Алпатьев А.В. Помидоры. Москва: Колос; 1981).

Antoshkin A.A, Degovtsov V.E, Pronina E.P, Antoshkina M.S. Varieties of black-eyed vegetable pea of VNIISSOK's breeding and its processability. *Legumes and Groat Crops.* 2014;4(12):86-89. [in Russian] (Антошкин А.А., Деговцов В.Е., Пронина Е.П., Антошкина М.С. Спаржевые сорта фасоли овощной селекции ВНИИССОК и их пригодность для переработки. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;4(12):86-89).

Bondareva L.L. Breeding and seed production of cole crops. Main achievements, research trends and results. *News of FSVC*. 2015;(46):140-147 [in Russian] (Бондарева Л.Л. Селекция и семеноводство капустных культур: основные вехи, направления и результаты. *Известия ФНЦО.* 2015;(46):140-147).

Bunin M.S., Fedorova M.I. Stages of development of root crops selection in VNIISSOK. *Breeding and Seed*

Production of Vegetable Crops. 2000;(1):26-28. [in Russian] (Бунин М.С., Федорова М.И. Этапы развития селекции корнеплодов во ВНИИССОК. *Селекция и семеноводство овощных культур.* 2000;(1):26-28).

Burenin V.I. D. D. Brezhnev: a tireless researcher of plant resources, excellent organizer of science and industry, mentor of scientists: (celebrating the 110-anniversary of his birth). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2015;176(3):250-259. [in Russian] (Буренин В.И. Д. Д. Брежнев – неутомимый исследователь растительных ресурсов, прекрасный организатор науки и производства, наставник научных кадров: (к 110-летию со дня рождения). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2015;176(3):250-259). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-3-250-259

Dobrutskaya E.G. Ecological base – basis for zone distribution of seed breeding. *Potato and Vegetables.* 2004;(2):11-13. [in Russian] (Добруцкая Е.Г. Экологическое обоснование – основа зонального размещения семеноводства. *Картофель и овощи.* 2004;(2):11-13).

Domblides E.A., Belov S.N., Soldatenko A.V., Pivovarov V.F. Production of doubled haploids in cucumber. *Vegetable Crops of Russia.* 2019;(5):3-14. [in Russian] (Домблидес Е.А., Белов С.Н., Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф. Получение удвоенных гаплоидов огурца. *Овощи России*. 2019;(5):3-14). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-3-14

Ershov I.I. Gribovo Experimental Station during the Great Patriotic War (Gribovskaya opytnaya stantsiya v gody Velikoy Otechestvennoy voyny). *Nauchnye trudy VNIISSOK = Scientific Works of VNIISSOK.* 1995;1:13-18. [in Russian] (Ершов И.И. Грибовская опытная станция в годы Великой Отечественной войны. *Научные труды ВНИИССОК.* 1995;1:13-18).

Fedorova M.I., Kozar E.G., Vetrova S.A., Zayachkovskyi V.A., Stepanov V.A. Factors to affect inbred beet plants while developing material for linear selection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(4):439-447. [in Russian] (Федорова М.И., Козарь Е.Г., Ветрова С.А., Заячковский В.А., Степанов В.А. Факторы, влияющие на репродуктивную способность инбредных растений свеклы столовой при создании линейного материала для селекции. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(4):439-447). DOI: 10.18699/VJ19.512

Golubkina N., Seredin T., Kriachko T., Caruso G. Nutritional features of leek cultivars and effect of selenium-enriched leaves from Goliath variety on bread physical, quality and antioxidant attributes. *Italian Journal of Food Science.* 2019;31(2):288-300.

Khimich G.A., Korottseva I.B., Gins M.S., Gins V.K., Baykov A.A. Pumpkins bred at VNIISSOK (Tykvy selektsii VNIISSOK). *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispolzovaniya =New and Unconventional Plants and Prospects of Their Utilization*. 2016;(12):271-273. [in Russian] (Химич Г.А., Коротцева И.Б., Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А. Тыквы селекции ВНИИССОК. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования.* 2016;(12):271-273).

Korottseva I.B., Khimich G.A. Main trends and challenges in breeding of pumpkin crops. *Vegetable Crops of Russia.* 2013;2(19):17-20. [in Russian] (Коротцева И.Б., Химич Г.А. Основные направления и задачи селекции тыквенных культур. *Овощи России*. 2013;2(19):17-20).

Mamedov M.I., Pyshnaya O.N., Dzhos E.A., Shmykova N.A., Suprunova T.P., Mitrofanova O.A., Verba V.M. Eggplant (*Solanum* spp.) (Baklazhan [*Solanum* spp.]). Moscow: VNIISSOK. 2015. [in Russian] (Мамедов М.И., Пышная О.Н., Джос Е.А., Шмыкова Н.А., Супрунова Т.П., Митрофанова О.А., Верба В.М. Баклажан (*Solanum* spp.). Москва: ВНИИССОК. 2015).

Pivovarov V.F. Breeding and seed production of vegetable crops (Selektsiya i semenovodstvo ovoshchnykh kultur). Moscow; 2007. [in Russian] (Пивоваров В.Ф. Селекция и семеноводство овощных культур. Москва; 2007).

Pivovarov V.F. Ecological basis of breeding and seed production of vegetable crops (Ekologicheskiye osnovy selektsii i semenovodstva ovoshchnykh kultur). Moscow: VNIISSOK; 2000. [in Russian] (Пивоваров В.Ф. Экологические основы селекции и семеноводства овощных культур. Москва: ВНИИССОК; 2000).

Pivovarov V.F., Dobrutskaya E.G. Golden milestones of science at the Gribovo Station – VNIISSOK (Zolotye vekhi nauki na Gribovskoy stantsii – VNIISSOK). *Vegetable Crops of Russia.* 2009;4(6):5-15. [in Russian] (Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г. Золотые вехи науки на Грибовской станции – ВНИИССОК. *Овощи России*. 2009;4(6):5-15).

Pivovarov V.F., Soldatenko A.V., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K. Federal scientific vegetable center – of the scientific security sector. *Vegetable Crops of Russia.* 2018;(3):3-10. [in Russian] (Пивоваров В.Ф., Солдатенко А.В., Пышная О.Н., Гуркина Л.К. Федеральный научный центр овощеводства как составная часть научного обеспечения отрасли. *Овощи России*. 2018;(3):3-10). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-3-3-10

Pronina E.P., Kotlyar I.P., Ushakov V.A. Main trends in vegetable pea breeding (Osnovnye napravleniya selektsii gorokha ovoshchnogo). *Breeding and Seed Production of Vegetable Crops.* 2009;(43):115-120. [in Russian] (Пронина Е.П., Котляр И.П., Ушаков В.А. Основные направления селекции гороха овощного. *Селекция и семеноводство овощных культур.* 2009;(43):115-120).

Pyshnaya O.N., Mamedov M.I., Pivovarov V.F. Pepper breeding (Selektsiya pertsa). Moscow: VNIISSOK; 2012. [in Russian] (Пышная О.Н., Мамедов М.И., Пивоваров В.Ф. Селекция перца. Москва: ВНИИССОК; 2012).

Soldatenko A.V., Musaev F.B. Modern trends and prospects of development of Russian agrarian science. *Vegetable Crops of Russia.* 2018;(6):104-108. [in Russian] (Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б. Настоящее и перспективы развития отечественной аграрной науки. *Овощи России*. 2018;(6):104-108). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-104-105

Soldatenko A.V., Pyshnaya O.N. The role of vegetable breeding and modern researches in food stability. *Vegetable Crops of Russia.* 2018;(5):5-8. [in Russian] (Солдатенко А.В., Пышная О.Н. Роль селекции овощных культур и современных исследований в продовольственной стабильности. *Овощи России*. 2018;(5):5-8). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-5-5-8

Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K., Tareeva M.M. Some results and prospects of the breeding of vegetable crops in Russia. *News of FSVC.* 2019;(1):27-38. [in Russian] (Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Пышная О.Н., Гуркина Л.К., Тареева М.М. Некоторые итоги и перспективы селекции овощных культур. *Известия ФНЦО*. 2019;(1):27-38). DOI: 10.18619/2658-4832-2019-1-27-38

Startsev V.I., Bondareva L.L. To reserve the priority for home-selected cabbage varieties is a task of the state-level importance. *Vegetable Crops of Russia.* 2011;4(13):8-11. [in Russian] (Старцев В.И., Бондарева Л.Л.

Сохранить приоритет отечественных сортов капусты – важная государственная задача. *Овощи России.* 2011;4(13):8-11).

Taganov B.O. Development of laboratory technology for the production of androgenic carrot plants in vitro (Razrabotka laboratornoy tekhnologii polucheniya androgennykh rasteniy morkovi in vitro) [dissertation] Moscow: VNIISSOK; 1991. [in Russian] (Таганов Б.О. Разработка лабораторной технологии получения андрогенных растений моркови *in vitro*: дис.... канд. с.-х. наук. Москва: ВНИИССОК; 1991).

Timin N.I. Genetic peculiarities of display of the changed forms in inbreded and crossbreded posterities of vegetable plants. *Agricultural Biology.* 2005;40(3):101-105. [in Russian] (Тимин Н.И. Генетические особенности образования измененных форм в инбредных и кроссбредных потомствах овощных растений. *Сельскохозяйственная биология*. 2005;40(3):101-105).

Timin N.I., Vasilevsky V.A. Carrot lines for CMS-based heterosis breeding (Linii morkovi dlya geterozisnoy selektsii na osnove TsMS). *Potato and Vegetables*. 1995;(3):27-31. [in Russian] (Тимин Н.И., Василевский В.А. Линии моркови для гетерозисной селекции на основе ЦМС. *Картофель и овощи*. 1995;(3):27-31).

Ushakov V.A., Kotlyar I.P., Pronina E.P. New cultivars of vegetable pea for conveyor expansion. *Potato and Vegetables.* 2014;(12):30-31. [in Russian] (Ушаков В.А., Котляр И.П., Пронина Е.П. Новые сорта овощного гороха для расширения конвейера. *Картофель и овощи*. 2014;(12):30-31).

Vjurtts T.S., Domblides E.A., Shmykova N.A., Fedorova M.I., Kan L.Ju., Domblides A.S. Production of DH-plants in culture of isolated microspore in carrot. *Vegetable Crops of Russia.* 2017;(5):25-30. [in Russian] (Вюртц Т.С., Домблидес Е.А., Шмыкова Н.А., Федорова М.И., Кан Л.Ю., Домблидес А.С. Получение DH-растений в культуре микроспор моркови. *Овощи России*. 2017;(5):25-30). DOI: 10.18619/2072-9146-2017-5-25-30

Zhegalov S.I. Breeding garden plants for seeds (Razvedeniye ogorodnykh rasteniy na semena). Moscow; 1925. [in Russian] (Жегалов С.И. Разведение огородных растений на семена. Москва; 1925).

Zhegalov S.I. Introduction to agricultural plant breeding (Vvedeniye v selektsiyu selskokhozyaystvennykh rasteniy). 4th ed. Moscow: VNIISSOK; 2006. [in Russian] (Жегалов С.И. Введение в селекцию сельскохозяйственных растений. 4-е изд. Москва: ВНИИССОК; 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

Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б., Соколова Д.В. Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):156-166. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166

Soldatenko A.V., Musaev F.B., Sokolova D.V. The 100th anniversary of the Federal Scientific Vegetable Center, the leader of Russian scientific vegetable growing. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):156-166. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166

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/10.30901/2227-8834-2020-2-156-166

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

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Soldatenko A.V. https://orcid.org/0000-0002-9492-6845
Musaev F.B. https://orcid.org/000-0001-9323-7741
Sokolova D.V. https://orcid.org/0000-0002-9967-7454

Научное издание:

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, ТОМ 181, ВЫПУСК 2**

Научный редактор: *Е. А. Соколова*
Корректор: *А. Г. Крылов*
Компьютерная верстка: *А. В. Иванов*

Подписано в печать 22.06.2020. Формат бумаги 70×100 $^{1}/_{8}$

Бумага офсетная. Печать офсетная

Печ. л 21. Тираж 300 экз. Зак. 2506/20

Сектор редакционно-издательской деятельности ВИР

190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 42, 44

ООО «Р–ПРИНТ»

Санкт-Петербург, пер. Гривцова, 6^{Б}