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

ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ, ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, том 181

выпуск 1

(основаны Р. Э. Регелем в 1908 г.)

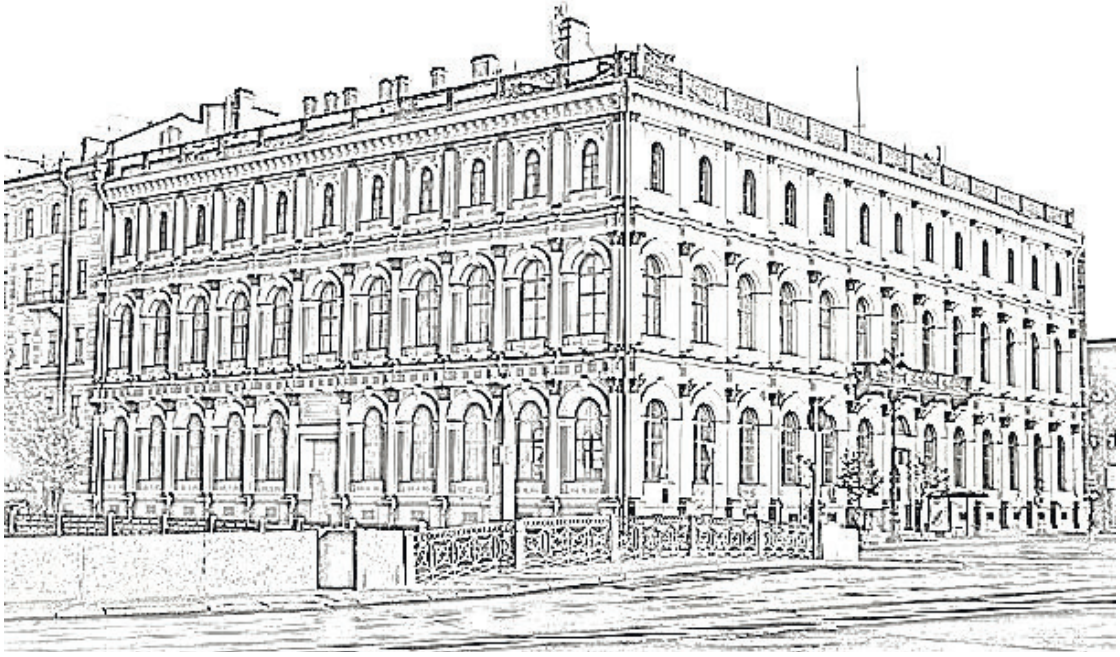
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

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

issue 1

(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 1

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, N. I. Dzyubenko, G. V. Eremin, 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. K. Potokina, E. E. Radchenko, I. D. Rashal, A. V. Rodionov, L. J. Schipilina, M. M. Silantyeva, T. N. Smekalova, 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 1

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, Н. И. Дзюбенко, 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, Е. К. Потокина, М. А. Пынтя, Е. Е. Радченко, И. Д. Рашаль, А. В. Родионов, М. М. Силантьева, Т. Н. Смекалова, О. В. Солодухина, И. А. Тихонович, Е. К. Туруспеков, 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. 1. СПб., 2020. 146 с.

Дана оценка пополнения генофонда твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. Исследована изменчивость периода «всходы – колошение» яровых образцов ячменя из Дагестана. У культурного и дикого овса рассмотрено разнообразие содержания авенантрамидов. Определены морфоструктурные компоненты продуктивности сортов черной смородины. На Кубанской опытной станции ВИР проведена оценка коллекция сои для использования в селекции. Выявлен полиморфизм сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше. Описана родословная сортов овса немчиновской селекции, включенных в Госреестр в последние годы. Изучены фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гамаграссом. Проанализирован процесс введения в культуру дикорастущего тетраплоидного вида овса *Avena magna,* эндемика Марокко. Дана оценка сортов вишни степной в Челябинской области и нового сорта яблони для Среднего Урала. У интродуцируемых видов астрагалов исследовано прохождение фенологических фаз в условиях Кулундинской степи. Обсуждены вопросы возделывания арахиса и его биологические особенности. Проанализированы южноамериканские виды картофеля *Solanum alandiae* и *S. okadae* как потенциальные источники генов устойчивости к фитофторозу. Рассмотрены история мобилизации в ВИР генетических ресурсов растений с территории Бангладеш, Пакистана и Бутана и история создания и изучения коллекции картофеля на Полярной опытной станции ВИР.

Табл. 57, рис. 39, библиогр. 285 назв.

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

PROCEEDINGS ON APPLIED BOTANY, GENETICS AND BREEDING. Vol. 181, iss. 1. SPb., 2020. 146 p.

The diversity of durum wheat added in 2000–2019 to the gene pool stored in the VIR genebank is analyzed. Variability of the period between germination and heading has been studied in spring barley accessions from Dagestan. Wild and cultivated oats from the VIR collection have been tested for their avenanthramide content. Morphostructural yield components have been assessed in black currant cultivars. The Kuban Experiment Station of VIR has made an evaluation of the soybean collection to disclose its prospects for breeding practice. Polymorphism of monogenic scab resistance loci has been analyzed in apple-tree varieties. Pedigrees of the oat cultivars developed at Nemchinovka Research Center and recently listed in the State Register are described. Fodder qualities have been evaluated in heterotic hybrids from intergeneric crosses between maize and eastern gamagrass. The process of domestication is described for *Avena magna,* a wild tetraploid oat species endemic of Morocco. Evaluation data are presented for steppe cherry cultivars in Chelyabinsk Province and a new apple-tree cultivar in the Middle Urals. The passage through phenophases has been studied in milkvetch species introduced into the environments of the Kulunda Steppe. Cultivation of groundnut and its biological peculiarities are discussed. The South American species *Solanum alandiae* and *S. okadae* have been analyzed as potential sources of genes for potato late blight resistance. The process of plant genetic resources mobilization from Bangladesh, Pakistan and Bhutan to the VIR collection is reviewed, and the history of the potato collection and potato research at the Polar Experiment Station of VIR is highlighted. Tabl. 57, fig. 39, ref. 285.

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

Lyapunova O. A., Andreeva A. S.
Cultivars and lines added to the gene pool of VIR's durum wheat collection in 2000–2019 7

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Panikhin P. A., Sokolov V. A.
Fodder qualities of heterotic hybrids from intergeneric crosses between maize and eastern gamagrass 17

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

Zveinek I. A., Abdullaev R. A., Batasheva B. A., Radchenko E. E.
Variability of the period between germination and heading in spring barley accessions from Dagestan 24

Leonova S., Gnutikov A., Loskutov I., Blinova E., Gustafsson K.-E., Olsson O.
Diversity of avenanthramide content in wild and cultivated oats 30

Nekrasov A. Y.
Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources 48

Tikhonova O. A.
Individual morphostructural components of yield in black currant cultivars 53

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Lyzhin A. S., Savel'eva N. N.
Polymorphism of monogenic scab resistance loci in apple varieties 64

Muratova (Fadina) O. A., Beketova M. P., Kuznetsova M. A., Rogozina E. V., Khavkin E. E.
South American species *Solanum alandiae* Card. and *S. okadae* Hawkes et Hjerting as potential sources of genes for potato late blight resistance 73

Saidi N., Shaimi N., Idrissi A. S., Souihka A., Gaboun F., Al Faiz C., Ladizinsky G.
Domestication of *Avena magna* Murphy et Terrell: a wild tetraploid oat species endemic of Morocco 84

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Telezhinskiy D. D., Kotov L. A., Makarenko S. A., Tarasova G. N.
Sverdlovchanin: a new apple cultivar for the Middle Urals 93

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

Kornievskaya T. V.
Passage through phenophases by milkvetches introduced into the environments of the Kulunda Steppe 97

BRIIEF REPORTS

Vasiliev A. A., Gasymov F. M., Galimov V. R.
Studying steppe cherry cultivars in Chelyabinsk Province 105

SURVEYS

Kabashov A. D., Loskutov I. G., Vlasenko N. M., Leibovich Ya. G., Markov A. S., Filonenko Z. V., Razumovskaya L. G.
Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review) 110

Kishlyan N. V., Bemova V. D., Matveeva T. V., Gavrilova V. A.
Biological peculiarities and cultivation of groundnut (a review) 119

HISTORY OF AGROBIOLOGICAL RESEARCH AND VIR. NAMES OF RENOWN

Loskutova N. P., Ozerskaya T. M.
Mobilization of plant genetic resources from Bangladesh, Pakistan and Bhutan 128

Travina S. N.
Polar Experiment Station of VIR: the northernmost outpost of potato research 139

СОДЕРЖАНИЕ

МОБИЛИЗАЦИЯ И СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Ляпунова О. А., Андреева А. С.
Сорта и линии, пополнившие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. 7

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Панихин П. А., Соколов В А.
Фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гамаграссом 17

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Звейнек И. А., Абдуллаев Р. А., Баташева Б. А, Радченко Е. Е.
Изменчивость периода «всходы – колошение» яровых образцов ячменя из Дагестана 24

Леонова С., Гнутиков А., Лоскутов И., Блинова Е., Густафссон К.-Е., Олссон О.
Разнообразие содержания авенантрамидов у культурного и дикого овса 30

Некрасов А.Ю.
Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР 48

Тихонова О. А.
Отдельные морфоструктурные компоненты продуктивности сортов черной смородины 53

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Лыжин А. С., Савельева Н. Н.
Полиморфизм сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше 64

Муратова (Фадина) О. А., Бекетова М. П., Кузнецова М. А., Рогозина Е. В., Хавкин Э. Е.
Южноамериканские виды *Solanum alandiae* Card. и *S. okadae* Hawkes et Hjerting
как потенциальные источники генов устойчивости к фитофторозу картофеля 73

Саиди Н., Шаими Н., Идрисси А. С., Суихка А., Габун Ф., Аль Фаиз С., Ладизинский Г.
Введение в культуру дикорастущего тетраплоидного вида овса
Avena magna Murphy et Terrell, эндемика Марокко 84

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Тележинский Д. Д., Котов Л. А., Макаренко С. А., Тарасова Г. Н.
Свердловчанин – новый сорт яблони для Среднего Урала 93

СИСТЕМАТИКА, ФИЛОГЕНИЯ И ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Корниевская Т. В.
Прохождение фенологических фаз у астрагалов, интродуцируемых в условиях Кулундинской степи 97

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Васильев А. А., Гасымов Ф. М., Галимов В. Р.
Сортоизучение вишни степной в Челябинской области 105

ОБЗОРЫ

Кабашов А. Д., Лоскутов И. Г., Власенко Н. М., Лейбович Я. Г., Маркова А. С., Филоненко З. В., Разумовская Л. Г.
Сорта овса немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы (обзор) 110

Кишлян Н. В., Бемова В. Д., Матвеева Т. В., Гаврилова В. А.
Биологические особенности и возделывание арахиса (обзор) 119

ИСТОРИЯ АГРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВИР. СЛАВНЫЕ ИМЕНА

Лоскутова Н. П., Озерская Т. М.
Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Бангладеш, Пакистана и Бутана 128

Травина С. Н.
Полярная опытная станция ВИР – северный форпост исследований картофеля 139

Сорта и линии, пополнившие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг.

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16
УДК 57.063.7: 633.112.1
Поступление/Received: 28.02.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Cultivars and lines added to the gene pool of VIR's durum wheat collection in 2000–2019

О. А. ЛЯПУНОВА, А. С. АНДРЕЕВА

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

O. A. LYAPUNOVA, A. S. ANDREEVA

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

Пополнение коллекции твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.), как и коллекции любой другой культуры, сохраняемой в ВИР, – процесс перманентный, направленный на расширение генофонда культуры по географическому, морфологическому и агробиологическому разнообразию. Особый статус в этом процессе имеет привлечение достижений отечественных селекционеров, сорта и линии которых со временем остаются лишь в коллекции *ex situ* и в полной мере относятся к национальному достоянию России. Пополнение, наряду с сохранением, изучением и передачей пользователям, – обязательная задача при работе с коллекцией. Она может осуществляться путем выписки из генетических банков семян или обмена с коллекциями исследовательских центров зарубежных стран, контактов с отечественными селекционерами или селекцентрами, поступления сортов, включенных в Госреестр РФ, по договору об обязательной передаче их в ВИР. Еще один путь пополнения коллекции – экспедиционные сборы.
Объектом описания служили 570 образцов, включенных в основной каталог твердой пшеницы в период с 2000 по 2019 г. Они происходят из 28 стран Европы, Азии, Ближнего Востока, Африки, Северной Америки и из 16 регионов России.
Коллекция твердой пшеницы ВИР пополнилась образцами, представляющими интерес как в географическом, так и в агробиологическом плане. Селекционные достижения отечественных селекционеров в большой мере включены в коллекцию мировых генетических ресурсов для их сохранения и всестороннего использования как в данный момент, так и в будущем.

Ключевые слова: *Triticum durum*, коллекция ВИР, пополнение коллекции, учреждения-доноры.

Replenishment of the collection of durum wheat (*Triticum durum* Desf.), like any other crop collection held by VIR, is a permanent process aimed at expanding the geographic, morphological and agrobiological diversity of the crop's gene pool. A special status in this process is given to the achievements of domestic breeders, whose cultivars and lines over time remain only in the *ex situ* collection and constitute the national heritage of Russia. Replenishment, along with conservation, studying and sharing with the users, is a mandatory task when managing a plant germplasm collection. It can be fulfilled by sending requests for seeds to other genebanks, through the exchange with the collections of foreign research centers, contacts with individual breeders or breeding centers in Russia, or when crop cultivars are submitted to VIR from the State Register of Breeding Achievements Approved for Utilization in Russia. Besides, new accessions are added to the genebank by collecting missions.
Descriptions have been made for 570 accessions included in the main catalogue of VIR's durum wheat collection from 2000 to 2019. They originated from 28 countries of Europe, Asia, the Near East, Africa and North America, and from 16 regions of Russia.
The durum wheat collection of VIR was replenished with accessions interesting both from the geographic and agrobiological viewpoints. Cultivars developed by domestic breeders are included in the global genetic resources collection primarily with the purpose of their conservation and comprehensive utilization, both now and in the future.

Key words: *Triticum durum*, the VIR collection, replenishment of the collection, donor institutions.

Введение

Пшеница твердая (*Triticum durum* Desf.) – одна из основных зерновых культур, которая выращивается в основном для питания человека. Она употребляется в виде изделий из зерен или теста (по-итальянски – pasta), таких как спагетти, макароны, лапша, ракушки и еще более 30 наименований в Италии (Filomeno, 2019); плоский хлеб – пита и др.; крупы – манная, кускус, булгур и др. В некоторых регионах мира низкокачественная твердая пшеница используется как кормовая, что является возможностью ее экспорта в страны, где выращивается в большей мере высококачественная твердая пшеница, что экономически выгодно обоим партнерам. Так, например, экспорт из России в Италию составляет 3,4% (OEC – Economic…, 2019).

По данным Международного совета по зерну (International Grains…, 2019), в 2017–2018 гг. площадь ежегодного посева твердой пшеницы во всем мире оценивают в 12–15 млн га с продуктивностью в 37–40 млн тонн зерна в год, то есть 5% от общего производства пшеницы. Мировое потребление твердой пшеницы достигло 39,1 млн т, в том числе 2,8 млн т фуражной пшеницы (Boyacioglu, 2017). Твердую пшеницу выращивают в различных регионах мира, но основное ее производство сосредоточено в странах Средиземноморского бассейна и Северной Америки. Восемь стран (Алжир, Италия, Канада, Марокко, Мексика, Тунис, Турция и США) обеспечи-

вают около 2/3 мирового урожая твердой пшеницы. Основные экспортеры – североамериканские страны (Канада, Мексика, США), основные импортеры – страны Средиземноморского бассейна (Алжир, Марокко, Тунис и страны ЕС). Ежегодная торговля зерном твердой пшеницы составляет 8–9 млн т.

Основными факторами, лимитирующими урожай зерна в регионах выращивания твердой пшеницы, являются недостаточная сумма температур в период вегетации, почвенные засуха и засоление, болезни и вредители. Повышение устойчивости сортов к биотическим и абиотическим стрессорам является одной из задач, стоящих перед селекцией. Использование биоразнообразия в селекции культуры может быть одним из путей в решении этих проблем. Коллекция твердой пшеницы, сохраняемая в ВИР, является одним из источников этого биоразнообразия.

Создание коллекции пшеницы относится к началу деятельности Бюро по прикладной ботанике, основанному в 1894 г. Первые образцы коллекции твердой пшеницы датируются 1902 годом. Они были интродуцированы из коллекций Эрфуртской семенной торговой фирмы Haage & Schmidt. Отечественные местные сорта поступали из ботанических садов, музеев, с сельскохозяйственных выставок и от агрономов (Lyapunova, 2004).

Сегодня коллекция твердой пшеницы ВИР насчитывает 6479 образцов в основном каталоге из всех регионов происхождения и выращивания твердой пшеницы. За последние 20 лет коллекция пополнилась 570 сортами и линиями. В начале 2000-х годов главной проблемой было отсутствие в коллекции большого числа сортов отечественной селекции. Это следствие отступления от существовавшего в предыдущем десятилетии правила обязательной передачи в коллекцию ВИР образцов всех сортов, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ и проходящих испытания в Госсорткомиссии. Сами селекционеры, по-видимому, упускали это из виду, да и требовало это дополнительных финансовых затрат. Поэтому наша деятельность была сосредоточена на привлечении селекционных достижений всех участников этого процесса в России. В результате из 72 сортов яровой и озимой твердой пшеницы, включенных в Госреестр в 2019 г., в коллекции есть 90% сортов. В настоящее время все сорта, проходящие испытания в Госсорткомиссии, поступают в коллекцию ВИР. Это снимает проблему сохранения достижений селекционеров. Они будут сохранены в коллекции ВИР, пока она существует, а не уйдут в небытие после прекращения выращивания того или иного сорта.

Пополнение, наряду с сохранением, изучением и передачей пользователям, – обязательная задача при работе с коллекцией. Она может осуществляться путем выписки из генетических банков семян или обмена с коллекциями исследовательских центров зарубежных стран, контактов с отечественными селекционерами или селекцентрами, поступления сортов, включенных Государственный реестр, по договору об обязательной передаче их в ВИР. Еще один путь пополнения коллекции – экспедиционные сборы.

Описание генетических ресурсов твердой пшеницы, пополнивших коллекцию ВИР за последние 20 лет, познакомит заинтересованных пользователей с ассортиментом, с историей создания этой части коллекции, с характеристикой наиболее интересных образцов отечественной и зарубежной селекции.

Описание образцов, включенных в основной каталог за последние 20 лет

Объектом описания и исследований были 570 сортов и линий твердой пшеницы из 26 зарубежных стран (табл. 1) и 16 областей и краев России (табл. 2), вклю-

Таблица 1. Происхождение образцов твердой пшеницы, включенных в основной каталог в период 2000–2019 гг.

Table 1. Origin of durum wheat accessions included in the main catalogue in the period of 2000–2019

Страна	Число образцов	Страна	Число образцов
Австрия	2	Кыргызстан	1
Азербайджан	7	Мексика	19
Аргентина	1	Молдова	8
Армения	2	Россия (РФ)	202
Афганистан	1	Сербия	1
Болгария	1	Сирия	59
Венгрия	3	Словения	2
Греция	1	США	3
Египет	2	Таджикистан	1
Иран	1	Туркменистан	1
Италия	109	Турция	17
Казахстан	26	Украина	41
Канада	4	Франция	50
Китай	1	Эфиопия	4
		Всего 28 стран	**Всего 570**

Таблица 2. Образцы твердой пшеницы российского происхождения, включенные в основной каталог в период 2000–2019 гг.

Table 2. Durum wheat accessions of Russian origin included in the main catalogue in the period of 2000–2019

Регион	Число образцов	Регион	Число образцов
Алтайский край	6	Ленинградская обл.	1
Астраханская обл.	1	Омская обл.	10
Башкортостан	1	Оренбургская обл.	8
Белгородская обл.	1	Орловская обл.	1
Воронежская обл.	5	Ростовская обл.	102
Дагестан	11	Самарская обл.	26
Иркутская обл.	3	Саратовская обл.	9
Краснодарский край	16	Ставропольский край	1
		Всего 16 регионов России	**202**

ченных в основной каталог коллекции твердой пшеницы ВИР в период 2000–2019 гг. Число образцов, поступивших из различных стран, достаточно разнообразно: есть единичные образцы, есть большие наборы, поступившие одноразово или партиями в различные годы. Среди них большинство селекционных сортов (391) преимущественно российского происхождения; ценные селекционные линии (159); 20 образцов, собранных экспедициями ВИР. Образцы имеют как озимый, так и яровой тип развития.

Как уже упоминалось, пути пополнения коллекции разнообразны. В данный период образцы поступили из 35 зарубежных учреждений путем выписки или обмена материалом; 18 селекционных учреждений России передали свои сорта и линии; 5 экспедиций с участием сотрудников ВИР собрали местные и коммерческие сорта в шести странах. Данные трехлетнего изучения в опытной сети ВИР образцов, поступивших в коллекцию в период 2000–2015 гг., представлены в опубликованных каталогах мировой коллекции ВИР, которые есть в отделе ГР пшеницы в свободном доступе (Lyapunova et al., 2018; 2019).

Сорта зарубежной селекции

Все зарубежные учреждения, передавшие образцы твердой пшеницы в коллекцию ВИР, приведены в таблице 3.

Для использования зарубежных сортов твердой пшеницы в российской селекции наибольший интерес представляют образцы из стран, где эта селекция находится на высоком уровне. Прежде всего, это высокопродуктивные, пластичные сорта Канады и Турции, современные сорта Казахстана. Определенный интерес представляют озимые сорта Венгрии, Украины и Молдовы (табл. 4).

К сожалению, мы не имеем в своей коллекции современных сортов США, где успешно ведется селекция высокопродуктивных и высококачественных сортов твердой пшеницы. Их можно было бы выписать через информационную сеть ресурсов гермоплазмы GRIN-Global – The Germplasm Resource Information Network (GRIN). Разработчики этого проекта преследовали идею создания сети, которая подходит для использования любым заинтересованным генбанком в мире, и это работает. Но в последнее десятилетие доступ к новым сортам селекционеров США закрыт для передачи, и мы можем довольствоваться только информацией о них.

При изучении на Дагестанской опытной станции ВИР подтвердили свою устойчивость к мучнистой росе, бурой и желтой листовым ржавчинам 23 линии, полученные из питомников испытания на устойчивость к патогенам ICARDA (Сирия).

В последнее время в числе сортов, переданных на испытания в Госсорткомиссию, можно увидеть сорта зарубежной селекции. В коллекцию твердой пшеницы ВИР были переданы такие сорта из Австрии и Словакии.

Австрийская компания SAATBAU LINZ создала и передала на испытания сорт яровой твердой пшеницы ‘Durofinus’ со следующими характеристиками: короткостебельный, устойчивый к желтой и бурой ржавчинам, характеризуется самым высоким содержанием желтого пигмента и очень благоприятным глютеновым индексом (SAATBAU…, 2020).

Другая австрийская семеноводческая компания, SAATZUCHT DONAU GMBH & COKG, передала сорт яровой твердой пшеницы ‘Tessadur’, созданный компанией Probstdorfer SA. Это один из лучших сортов, предлагаемых сегодня производителю Австрии, как с агрономической точки зрения, так и с точки зрения требуемых качественных параметров – короткостебельный, рано колосящийся, со средним сроком созревания, устойчив к бурой ржавчине и фузариозу колоса, обладает высоким качеством зерна (Probstdorfer, 2020).

Словацкая семеноводческая компания OSIVO a.s. вырастила семена двух новых сортов ‘IS Duragold’ и ‘IS Duranegra’ селекционной компании ISTROPOL Solary a.s. из Словении, которые были переданы на испытание в Госсоркомиссию со следующими характеристиками: ‘IS Duragold’ – среднеранний, короткостебельный сорт яровой твердой пшеницы, обладает отличными агрономическими свойствами и характеризуется высоким потенциалом урожая и высокотехнологичным качеством макаронных изделий, высоким содержанием желтых пигментов. Основные показатели качества макаронных изделий имеют хорошую стабильность даже при большом количестве осадков в период

Таблица 3. Зарубежные учреждения-доноры, передавшие образцы твердой пшеницы в коллекцию ВИР в период 2000–2019 гг.

Table 3. Foreign donor institutions that donated durum wheat accessions to the VIR collection in the period of 2000–2019

Страна	Учреждение-донор
Австрия	Компания SAATBAU LINZ, Leonding
Азербайджан	Terter Experimental Station of the Azerbaijan Institute of Plant Production
Аргентина	Instituto Nacional de Semillas (INASE), Cordoba, Argentina
Афганистан	Australian Winter Cereal Collection (AWCC), Tamworth, Australia
Болгария	Institute for Plant Genetic Resources 'K. Malkov', Sadovo, Bulgaria
Венгрия	Gabonakutató Nonprofit Kft., Szeged, Hungary
Греция	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria
Египет	National Small Grains Collection (NSGC), Aberdeen, USA
Иран	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.
Италия	Cereal Research Centre – CRA-CER, Roma, Italy
Казахстан	Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция (ТОО «АСХОС»), Актобе, Казахстан; Научно-производственный центр зернового хозяйства (НПЦЗХ) им. А. И. Бараева, Акмолинская обл. п. Шортанды-1, Казахстан; ТОО «Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция», Костанайская обл., с. Научное, Казахстан
Канада	Plant Gene Resources of Canada (PGRC), Saskatoon, Saskatchewan, Canada
Китай	Institute of Crop Germplasm Resources/Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS) (Genebank), Peking, China
Кыргызстан	Кыргызский НИИ Земледелия, Бишкек, Киргизия
Мексика	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Mexico City, Mexico (The International Maize and Wheat Improvement Center); National Small Grains Collection (NSGC), Aberdeen, USA
Молдова	Центр генетических ресурсов растений Института генетики и физиологии растений АН Молдовы, Кишинев, Молдова
Сербия	Institute of Field and Vegetable Crops (National Institute of the Republic of Serbia), Novi Sad, Srbija
Сирия	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), (Durum wheat stem rust, leaf rust and septoria nursery), Aleppo, Syria. Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (ACSAD), Damascus, Syria
Словакия	Výberová spoločnosť, ISTROPOL Solary a.s., Horné Mýto, Slovensko
США	Western Plant Breeders, Inc. Yuma, Arizona, USA Nickerson American Plant Breeders, Inc. Berthoud, Colorado, USA
Турция	Turkey Bahri Dagdas International Agricultural Research Institute, Konya Turkey
Украина	Институт земледелия южного региона НААН (Херсон) Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН (Харьков) Луганский институт агропромышленного производства Мироновский институт пшеницы им. В. Н. Ремесло НААН (Украина, Киевская обл.) ООО «Агро-Интерн, НЭП» (Национальный университет биоресурсов и природопользования, Киев) Косовская селекционно-опытная станция Института агроэкологии и биотехнологии (Киев) Национальный центр семеноведения и сортоизучения (Одесса)
Франция	GEVES – Groupe d'Erude et de Controle des Varietes et des Semenses (Beaucouzé, France) INRA – Institut National de la Recherche Agronomique (Paris, France)
Эфиопия	National Small Grains Collection (NSGC), Aberdeen, USA

Таблица 4. Сорта и линии, имеющие ряд ценных признаков при изучении на опытных станциях ВИР

Table 4. Cultivars and lines with a set of valuable traits identified when studied at VIR's experiment stations

№ по каталогу ВИР	Страна – оригинатор	Название сорта, линии	Тип развития	Год включения в коллекцию	N по каталогу ВИР	Страна – оригинатор	Название сорта, линии	Тип развития	Год включения в коллекцию
64352	Канада	AC Navigator	яровой	2004	64969	Казахстан	Корона	яровой	2009
64354	Канада	AC Avonlea	яровой	2004	64960	Казахстан	Наурыз 3	яровой	2009
64353	Канада	AC Morse	яровой	2004	64971	Казахстан	Рая	яровой	2009
64355	Канада	AC Melita	яровой	2004	65741	Казахстан	Световец	яровой	2014
66618	Турция	Meram-2002	озимый	2018	65354	Венгрия	GK Betadur	озимый	2012
66619	Турция	Arttuklu	яровой	2018	65356	Венгрия	GK Tiszadur	озимый	2012
66620	Турция	Firat-93	яровой	2018	65355	Венгрия	GK Novodur	озимый	2012
66621	Турция	Guney Yildizi	яровой	2018	63809	Молдова	Линия 171	озимый	2002
66622	Турция	Yelken 2000	озимый	2018	63810	Молдова	Ауриу 273	озимый	2002
66623	Турция	Eminbey	озимый	2018	63811	Молдова	Линия 165	озимый	2002
66624	Турция	Mirzabey 2000	озимый	2018	63812	Молдова	Гордеиформе 333	озимый	2002
66625	Турция	Imren	озимый	2018	63813	Молдова	Линия 154	озимый	2002
66649	Турция	Bisante	озимый	2018	63814	Молдова	Линия 188	озимый	2002
66670	Турция	Eyyubi	яровой	2018	64202	Украина	Тур	озимый	2004
66671	Турция	Sahinbey	яровой	2018	64540	Украина	Континент	озимый	2006
64972	Казахстан	Дамсинская 90	яровой	2009	64541	Украина	Архипелаг	озимый	2006
64963	Казахстан	Каргала 1	яровой	2009	64627	Украина	Дельта	озимый	2007
64962	Казахстан	Каргала 25	яровой	2009	64629	Украина	Макар	озимый	2008
64964	Казахстан	Каргала 3	яровой	2009	64709	Украина	Крейсер	озимый	2008
64207	Казахстан	Каргала 34	яровой	2004	64712	Украина	Линкорн	озимый	2008
64956	Казахстан	Каргала 4	яровой	2009	64973	Украина	Аргонавт	озимый	2010
64714	Казахстан	Каргала 69	яровой	2008	65082	Украина	Гавань	озимый	2010
64959	Казахстан	Каргала 7	яровой	2009	65083	Украина	Босфор	озимый	2010
65896	Казахстан	Каргала 71	яровой	2015	65202	Украина	Таврида	озимый	2011
64206	Казахстан	Каргала 9	яровой	2004	65357	Украина	Кассиопея	озимый	2012

созревания. Это пластичный сорт, который дает хорошие результаты даже за рубежом; 'IS Duranegra' – среднеранний, короткостебельный сорт яровой твердой пшеницы с хорошей полевой устойчивостью к болезням листьев и высокой продуктивностью колоса. Зерно крупное, стекловидное, хорошо выполненное. Для него характерен высокий потенциал урожайности и высокое и стабильное качество (ISTROPOL, 2020).

В 2016 г., вследствие обмена, из Cereal Research Centre – CRA-CER (Италия) поступил набор сортов итальянской селекции. Среди них как старые местные сорта, входящие в родословные всех последующих селекционных сортов Италии, так и современные высокопродуктивные короткостебельные сорта, выращиваемые в различных регионах страны и в ближайшем зарубежье. Селекция твердой пшеницы в Италии имеет более чем вековую историю. Результаты работы итальянских селекционеров за этот период впечатляют. Однако, будучи первой в мире по объему потребления твердой пшеницы, Италия испытывает недостаток в высокопродуктивных и высококачественных сортах. В селекционный процесс вовлечены исследовательские центры, университеты и крупные корпорации, которые занимаются изучением и использованием новых методов ускоренной селекции (Lyapunova, 2019).

Ряд поступивших в коллекцию ВИР итальянских сортов можно найти в публикации результатов изучения твердой пшеницы в национальной экспериментальной сети Италии в период с 1999 по 2012 г. (Quaranta et al., 2013).

Отдельно надо сказать о девяти изогенных линиях, созданных в CIMMYT (Мексика), поступивших из National Small Grains Collection (NSGC, США). Шесть линий имеют 1B хромосому и три – T1BL.1RS-изогенные линии.

Пшенично-ржаные транслокации 1BL/1RS используются в программах селекции пшеницы по всему миру. Многочисленные изучения влияния данной транслокации на разнообразные признаки и свойства мягкой пшеницы показывают как положительный, так и отрицательный эффект. Отмечают адаптационную стабильность и высокий потенциал урожайности некоторых сортов мягкой пшеницы, обладающих хромосомной заменой T1BL.1RS (Hajaram et al., 1983; Villareal et al., 1997); повышенную урожайность зерна и увеличение объема выпечки у генотипов с транслокацией (Singh et al., 2009); устойчивость к стеблевой ржавчине и мучнистой росе (Friebe et al., 1989; Friebe et al., 1993). Однако исследования в условиях засухи при орошении, жары и сочетания условий стресса от жары и засухи говорят о том, что транслокация 1BL/1RS не может быть подходящим источником генетического разнообразия для повышения урожайности зерна в условиях жары и засухи (Tahmasebi et al., 2015). Хромосомная замена 1BL/1RS была включена в зародышевую плазму твердой пшеницы в CIMMYT (Mujeeb-Kazi et al.,1999). Эти изогенные линии пополнили и нашу коллекцию. Они являются той основой, на которой проводятся исследования полезности и уникальности этой гермоплазмы для выяснения вкладов транслоцированного хромосомного плеча 1RS в различных генотипах твердой пшеницы. Ученые Германии (Friebe et al., 1987) описывают создание и перспективы использования цитологически стабильной транслокации чужеродных хромосом у тетраплоидной твердой пшеницы. Они предполагают, что потенциал устойчивости к болезням короткого плеча ржаной хромосомы 1R, широко распространенного во многих сортах гексаплоидной мягкой пшеницы, теперь может также использоваться для улучшения качества твердой пшеницы. Исследования о влиянии хромосомного плеча 1RS на агрономические показатели твердой пшеницы очень ограничены. Изучая культивируемую в средиземноморских условиях твердую пшеницу, обладающую транслокацией 1BL/1RS, авторы приходят к выводу, что у линий с транслокацией нет явного преимущества в урожайности зерна по сравнению с нормальными генотипами твердой пшеницы (Zarco-Hernández et al., 2000). В наших полевых исследованиях в условиях Прикаспийской низменности эти линии были выделены как имеющие высокие показатели элементов продуктивности колоса, устойчивые к мучнистой росе, бурой и желтой листовым ржавчинам, сочетающие высокую продуктивность и скороспелость (Lyapunova et al., 2018). Возможно, использование этого материала отечественными селекционерами даст положительные результаты.

Отметим эфиопский образец, полученный по выписке из NSGC (США). В коллекции NSGC он имеет статус «landrace». Основная его особенность – фиолетовый цвет зерна – *T. durum* var. *corvalanii* Ruden. (белые, неопушенные чешуи с черными остями). Это редкая разновидность у образцов твердой пшеницы в большей степени характерна для *T. aethiohicum* Jakubz. В результате изучения в опытной сети ВИР местный сорт отличался устойчивостью к бурой и желтой листовым ржавчинам, кортоткостебельностью, крупнозерностью, сочетал скороспелость с высокой продуктивностью.

Сорта и линии российской селекции

Поступившие отечественные сорта и линии являются обменным материалом между селекционерами через подачу заявок на конкретные сорта или на подборку сортов по тем или иным признакам. Несомненно, не менее важной является миссия коллекции ВИР по сохранению национального достояния, чем и являются созданные сорта. В основном все учреждения, в большей или меньшей степени занимающиеся селекцией твердой пшеницы, приведены в таблице 5. Все они в равной мере вносят свой вклад в работу по увеличению и улучшению ассортимента яровых и озимых сортов твердой пшеницы России. Исключение составляют редкие эксперименты по созданию ценных линий на Дагестанской опытной станции ВИР, в Иркутском научно-исследовательском институте сельского хозяйства и в Федеральном научном центре зернобобовых и крупяных культур.

В Государственный реестр селекционных достижений РФ включено 72 сорта озимой и яровой твердой пшеницы; 64 из них есть в коллекции ВИР. Число районированных сортов твердой пшеницы значительно уступает мягкой. Это может быть обосновано значительно меньшей территорией для возможности возделывания этой культуры и, соответственно, меньшим числом селекцентров и селекционеров, занимающихся созданием сортов твердой пшеницы. И тем не менее высокая потребность в собственной высококачественной твердой пшенице требует от селекционеров увеличения ассортимента для потребностей производителей макаронных изделий и качественного хлеба.

С этой точки зрения интересен пример создания компании ООО «АГРОЛИГА ЦЕНТР СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ». Она позиционирует себя как компания, которая занимается созданием сортов твердой пшеницы премиального

Таблица 5. Селекционные учреждения России, передавшие образцы твердой пшеницы в коллекцию ВИР в период 2000–2019 гг.

Table 5. Russian breeding centers that donated durum wheat accessions to the VIR collection in the period of 2000–2019

Регионы России	Селекционные учреждения
Алтайский край	Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий (ФГБНУ ФАНЦА)
Астраханская обл.	Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук (ФГБНУ «Прикаспийский НИИ аридного земледелия»)
Башкортостан	Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (ФГБНУ БНИИСХ)
Белгородская обл.	Белгородский государственный аграрный университет им. В. Я. Горина (ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ)
Воронежская обл.	Научно-исследовательский институт сельского хозяйств Центрально-Черноземной полосы им. В. В. Докучаева (ФГБНУ НИИСХ ЦЧП)
Дагестан	Дагестанская опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР)»
Иркутская обл.	Иркутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (ФГБНУ «Иркутский НИИСХ»)
Краснодарский край	Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко (ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»)
Москва, «Сколково»	ООО «АГРОЛИГА ЦЕНТР СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ» (ООО «Агролига ЦСР»)
Омская обл.	Омский аграрный научный центр (ФГБНУ «Омский АНЦ»)
Оренбургская обл.	Оренбургский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (ФГБНУ «Оренбургский НИИСХ»)
Орловская обл.	Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур (ФГБНУ ВНИИЗБК)
Ростовская обл.	Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»)
Ростовская обл.	Ростовский аграрный научный центр (ФГБНУ «ФРАНЦ»)
Самарская обл.	ООО «КОШЕЛЕВСКИЙ ПОСАД»
Саратовская обл.	Краснокутская селекционная опытная станция научно-исследовательского института сельского хозяйства Юго-Востока (ФГБНУ «Краснокутская СОС»)
Саратовская обл.	Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока (ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока»)
Ставропольский край	Прикумская опытно-селекционная станция Ставропольского НИИСХ (ФГУП «Прикумская ОСС»)

качества для здорового питания с использованием традиционных и современных методов селекции, таких как полногеномный поиск ассоциаций, маркер-опосредованная и геномная селекция. «Агролига ЦСР» планирует производство и вывод на российский и мировой рынок семян сортов твердой пшеницы высшего качества с целью удовлетворения потребности людей в здоровой еде, с высоким содержанием белка, минералов, витаминов, клетчатки и низким гликемическим индексом. На сегодняшний день два первых сорта яровой твердой пшеницы ‘Таганрог’ и ‘Бурбон’ компании «Агролига ЦСР» включены Госреестр РФ и переданы в коллекцию ВИР. На сайте компании они характеризуются как сорта с огромным потенциалом для развития отечественного рынка твердой пшеницы (Agroliga…, 2020).

Всевозрастающий интерес производителей к высококачественной твердой пшенице явился поводом для проведения в 2019 г. семинара «Пшеница твердая. Настоящее и будущее», организованного Омской макаронной фабрикой «Добродея». Основная цель семинара – организация стабильных поставок зерна твердой пшеницы, соответствующего мировым стандартам. Фабрика производит продукцию исключительно из сортов твердой пшеницы. Ее девиз – итальянские традиции на Омской земле. Пшеницу закупают в Омской и Оренбургской областях, на Алтае, в Казахстане. По мнению генерального директора фабрики Райнгольда Фрика, поддерживать надо прежде всего селекционные центры и семеноводческие хозяйства, тогда и семена будут востребованными, и сортообновление пойдет быстрее, и селекция начнет развиваться. Этого мнения придерживается большинство селекционеров и производителей, делая акцент на отсутствии необходимых средств и условий, при наличии высокого потенциала российских селекционеров. Интересным моментом семинара стало выступление Роберто Раньери (Roberto Ranieri), руководителя итальянской фирмы Open Fields, крупнейшего в мире производителя твердой пшеницы, консультанта компании «Добродея».

По его словам, начинать работу по развитию производства твердой пшеницы в России следует с улучшения качества сортов твердой пшеницы – повышать содержание белка и клейковины и ввести новый показатель – индекс глютена, одну из ключевых характеристик качества. С увеличением интересов аграриев к выращиванию зерна твердой пшеницы, с внедрением новых сортов в производство Омская область может стать одним из основных производителей твердой пшеницы в России (Dobrodeya …, 2020).

В коллекции ВИР есть все сорта яровой твердой пшеницы селекции «Омского АНЦ», включенные в Госреестр РФ или переданные на испытание в Госсорткомиссию. Результаты изучения в опытной сети ВИР представлены в опубликованных каталогах (Lyapunova et al., 2018, 2019).

Особый интерес представляют доноры различных признаков яровой твердой пшеницы, имеющие паспорт с зарегистрированным номером. Самарский НИИСХ имени Н. М. Тулайкова передал девять доноров различных признаков. Среди них доноры устойчивости к *Blumeria graminis* DC. f. sp. *tritici* Em Marchal (мучнистая роса), к *Puccinia recondita* R. (бурая ржавчина) и к *Ustilago tritici* (Pers.) C.N. Jensen (пыльная головня); два донора редукции высоты растений – с геном *Rht Ahn* от мексиканского сорта 'Ahninga' и с геном *Rht 1* (авторы А. А. Вьюшков, П. Н. Мальчиков, М. Г. Мясникова). Дагестанская опытная станция – филиал ВИР передала два донора короткостебельности (автор М. А. Ахмедов).

Помимо сортов, в коллекцию было передано 59 линий озимой твердой пшеницы селекции Федерального Ростовского аграрного научного центра (ФГБНУ «ФРАНЦ»; автор А. И. Грабовец). Современные сорта озимой твердой пшеницы обладают высоким потенциалом урожайности. На территории России не так много мест, где агроклиматические условия позволяют успешно возделывать озимую твердую пшеницу. Оригинаторами сортов озимой твердой пшеницы, включенных Госреестр РФ, являются Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко и Аграрный научный центр «Донской». Для повышения адаптивности при сохранении высокого качества зерна предлагаются различные пути внедрения этой культуры в сельскохозяйственное производство (Samofalova et al., 2009). Но исходный материал для селекции всегда играет одну из главных ролей. Анализ результатов изучения селекционных линий А. И. Грабовца на Кубанской опытной станции ВИР показал, что 12 линий имеют хорошие перспективы для использования в качестве исходного материала для селекции озимой твердой пшеницы.

Экспедиционные сборы

Экспедиционные сборы проходят на полях отдельных экспериментальных станций или фермерских хозяйств. На станциях можно собрать перспективные линии, у фермеров – местные сорта, которые выращиваются с давних времен. Но сегодня это редкие, если не сказать единичные образцы для возделываемых культур на территории России и не только. Найти местный сорт становится все труднее, частные хозяйства переходят на современные высокоурожайные селекционные сорта. Поэтому результатом экспедиций в основном были сборы селекционных сортов и линий. Экспедиции проходили на территориях Азербайджана, Армении, Италии (Сардинии), Эфиопии (табл. 6).

Из Азербайджана было привезено пять селекционных сортов Тертерской экспериментальной станции, входящих в Национальный реестр страны. При изучении на Дагестанской опытной станции ВИР они были выделены как скороспелые, высокопродуктивные, устойчивые к желтой листовой ржавчине. Ранее, при анализе результатов изучения большого количества образцов в опытной сети ВИР, нами было отмечено, что в условиях повышенной активности возбудителя (*Puccinia striiformis* West.) все азербайджанские местные сорта были устойчивы к желтой листовой ржавчине.

Совместная экспедиция сотрудников ВИР и ICARDA по Армении передала в коллекцию три сорта, собранных в провинции Суиник на полях поселка Какхнут. Образцы не отличались морфологическим разнообразием и не имели ценных хозяйственных признаков, но пополнили небольшое количество образцов твердой пшеницы из Армении в коллекции ВИР.

Совместная экспедиция ВИР и Университета Сассари (Италия, Сардиния) проходила по местам сборов, проведенных в 1926–1927 гг. по территории острова Сардиния по поручению Н. И. Вавилова. Это обследование территории о-ва Сардиния было приурочено к ознаменованию 125-летия со дня рождения Н. И. Вавилова по маршруту «Вавиловской Средиземноморской экспедиции 1926-1927 гг.» (Loskutov, 2019). Было собрано семь сортов, которые, по данным автора, по своему происхождению являются завозными из Италии или из Франции. Среди разновидностей были найдены опушенные и неопушенные формы, с белым цветом чешуй и белыми или черными остями – var. *melanopus* (Alef.) Koern., var. *leucurum* (Alef.) Koern. и var. *leucomelan* (Alef.) Koern.

Российско-эфиопская экспедиция проходила в рамках двух исторических событий – 85 лет со дня Вавиловской экспедиции по Эфиопии и 25-летия Эфиопско-

Таблица 6. Экспедиции, собравшие и передавшие образцы твердой пшеницы в коллекцию ВИР
Table 6. Collecting missions that collected and added durum wheat accessions to the VIR collection

Место сбора	Название и год экспедиции	Кто собрал
Азербайджан	Экспедиция ВИР, 2008	Зуев Е. В., в. н. с. отдела ГР пшеницы ВИР
Армения	Совместная экспедиция ВИР и ICARDA (Сирия), 2005	Смекалова Т. Н., в. н. с. отдела Агроботаники и *in situ* сохранения ГР (Гербарий) ВИР
Италия, Сардиния	Экспедиция ВИР, 2012	Лоскутов И. Г., гл. науч. сотр. отдела ГР овса, ржи и ячменя ВИР
Эфиопия	Российско-эфиопская экспедиция по Эфиопии, 2012	Зуев Е. В., в. н. с. отдела ГР пшеницы ВИР

Российской биологической экспедиции (Joint Ethio-Russian Biological Expedition – JERBE). Цель экспедиции заключалась в том, чтобы пройти вавиловские точки сбора и собрать местные тетраплоидные пшеницы для последующего сравнения с образцами, хранящимися в коллекции ВИР (Badaeva et al., 2018). Твердая пшеница не являлась основным объектом поиска, но три местных сорта были найдены в посевах в регионе Амхара, расположенном на Эфиопском нагорье. В коллекции ВИР хранится небольшое количество эфиопских образцов, в основном селекционные линии. Один местный сорт собран Н. И. Вавиловым в 1927 г., еще один – экспедицией ВИР 1959 года. Новые местные сорта имели такие же морфологические характеристики, как и предыдущие – неопушенные, с характерным красным цветом зерна, белым колосом с белыми или черными остями. Собранные экспедицией 2012 года местные сорта пополнили коллекцию твердой пшеницы из Эфиопии.

Заключение

Сорта и линии, поступившие в коллекцию твердой пшеницы ВИР, различались географическим и агробиологическим разнообразием, были получены из большого количества зарубежных и отечественных учреждений-доноров. Анализ результатов полевого изучения на опытных станциях ВИР позволил выделить источники таких ценных признаков, как скороспелость, короткостебельность и устойчивость к полеганию, устойчивость к грибным болезням, высокие показатели элементов продуктивности и массы зерна с единицы площади. Достижения отечественных селекционеров в большой мере включены в коллекцию мировых генетических ресурсов. Это позволило рекомендовать и передавать селекционерам интересный исходный материал.

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»

References/Литература

Agroliga PBC (Plant Breeding Center). [in Russian] Агролига ЦСР (Центр селекции растений). URL: http://agroliga.tilda.ws/ [дата обращения: 11.02. 2020].

Badaeva E.D., Shishkina A.A., Goncharov N.P., Zuev E.V., Lysenko N.S., Mitrofanova O.P. et al. *Evolution of Triticum aethiopicum* Jakubz. From Position of Chromosome Analysis. *Russian Journal of Genetics.* 2018;54(6):1-16. [in Russian] (Бадаева Е.Д., Шишкина А.А., Гончаров Н.П., Зуев Е.В., Лысенко Н.С., Митрофанова О.П. и др. Эволюция *Triticum aethiopicum* Jakubz. с позиции хромосомного анализа. *Генетика*. 2018;54(6):1-16). DOI: 10.7868/S0016675818060048

Boyacioglu H. Global durum wheat use trending upward. World-Grain.com. October 11, 2017. Available from: https://www.world-grain.com/articles/8777-global-durum- wheat-use-trending-upward [accessed Sept. 03, 2019].

Dobrodeya – Omsk pasta factory (Dobrodeya – Omskaya makaronnaya fabrika). [in Russian] (Добродея – Омская макаронная фабрика) URL: http://www.dobrodeya.ru/ru/recipe [дата обращения: 18.02.2020].

Filomeno G. Tutti i Tipi di Pasta più Famosi in Italia! LearnAmo; 2019. Available from: https://learnamo.com/pasta-italiana/ [accessed Feb. 11, 2020].

Friebe B., Gill B.S., Cox T.S., Zeller F.J. Registration of KS91WGRC14 Stem Rust and Powdery Mildew Resistant T1BL 1RS Durum Wheat Germplasm. *Crop Science.* 1993;33(1):220. DOI: 10.2135/cropsci1993.0011183X003300010068x

Friebe B., Heun M., Bushuk W. Cytological characterization, powdery mildew resistance and storage protein composition of tetraploid and hexaploid *1BL/1RS* wheat-rye translocation lines. *Theoretical and Applied Genetics.* 1989;78(3):425-432. DOI: 10.1007/BF00265307

Friebe B., Zeller F.J., Kunzmann R. Transfer of the 1BL/1RS wheat-rye-translocation from hexaploid bread wheat to tetraploid durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 1987;74(4):423-425. DOI: 10.1007/BF00289815

Hajaram S., Mann Ch.E., Ortiz-Ferrara G., Mujeeb-Kazi A. Adaptation, stability and high yield potential of certain 1B/1R CIMMYT wheats. In: S. Sakamoto (ed.). *Proceedings of the 6th International Wheat Genetics Symposium, Kyoto, Japan, 28 Nov. – 3 Dec. 1983*. Kyoto: Plant Germplasm Institute, Kyoto University; 1983. p.613-621.

International Grains Council (IGC). Available from: http://www.igc.int/ ru/about/aboutus.aspx [accessed Sept. 03, 2019].

ISTROPOL Solary a.s. Available from: http://istropol.sk/psen_tvrd/ [accessed Feb. 11, 2020].

Loskutov I.G., Camarda I., Brunu A. Following Vavilov's expeditions, Sardinia (Italy). *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2019;66(3):569-577. DOI: 10.1007/s10722-019-00747-z

Lyapunova O.A. A collection of the global genetic resources of durum wheat in VIR. (Kollektsiya mirovykh geneticheskikh resursov tverdoy pshenitsy VIR). In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Breeding, Seed Production and Cultivation of Field Crops", June 7–9, 2004, Rostov-on-Don, Russia. (Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Selektsiya, semenovodstvo i vozdelyvaniye polevykh kultur" 7–9 iyunya 2004, Rostov-na-Donu, Rossiya)*. Rostov-on-Don; 2004. p.68-74. [in Russian] (Ляпунова О.А. Коллекция мировых генетических ресурсов твердой пшеницы ВИР. В кн.: *Материалы международной научно-практической конференции «Селекция, семеноводство и возделывание полевых культур» 7–9 июня 2004 г., Ростов-на-Дону, Россия*. Ростов-на-Дону; 2004. С.68-76).

Lyapunova O.A. Durum wheat breeding in Italy. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2019;5(1):19-34. [in Russian] (Ляпунова О.А. Селекция твердой пшеницы в Италии. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2019;5(1):19-34. DOI: 10.18699/Letters2019-5-3

Lyapunova O.A., Akhmedov M.A., Andreeva A.S., Magomedov M.M. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 875. Durum wheat: Results of long-term field research on the durum wheat collection in the environments of the Caspian depression. St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Ляпунова О.А., Ахмедов М.А., Андреева А.С., Магомедов М.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 875. Твердая пшеница: Результаты многолетнего полевого изучения коллекции твердой пшеницы в условиях

Прикаспийской низменности. Санкт-Петербург: ВИР. 2018).

Lyapunova O.A., Andreeva A.S., Loseva V.A. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 892. Spring durum wheat: Results of long-term field studies of the spring durum wheat collection in Tambov Province. Issue 892. St. Petersburg: VIR; 2019. [in Russian] (Ляпунова О.А., Андреева А.С., Лосева В.А. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 892. Яровая твердая пшеница: Результаты многолетнего полевого изучения коллекции яровой твердой пшеницы в условиях Тамбовской области. Санкт-Петербург: ВИР; 2019).

Mujeeb-Kazi A., Cortes A., Rosas V., William M.D.H.M., Delgado R. Some *Triticum turgidum* L. cultivars possessing the chromosome T1BL.1RS substitution. *Cereal Research Communications.* 1999;27:373-376. DOI: 10.1007/BF03543551

OEC – Economic Complexity Ranking of Countries (2013–2017). Available from: https://atlas.media. mit.edu/it/ [accessed Sept. 03, 2019].

Probstdorfer Saatzucht GesmbH & CoKG. Available from: http://www.probstdorfer.at/index.php?url=unternehmen/unternehmen.htm [accessed Feb. 11, 2020].

Quaranta F., Belocchi A., Fornara M., Ripa C., D'Egidio M.G. Le varieta di frumento duro in Italia. Risultati della rete nazionale di sperimentazione 1999–2012. Roma, Italia: CRA; 2013. Available from: http://sito.entecra.it/portale/public/documenti/volume-fd-2013-con-isbn-redux.pdf?lingua=IT [accessed Sept. 03, 2019]. [in Italian]

SAATBAU LINZ. Available from: https://www.saatbau.com/at/unternehmen/ueber-uns [accessed Feb. 11, 2020].

Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Kovtun L.N., Dubinina O.A., Beloborodova T.V. Durum winter wheat: progress, problems, prospects (Tverdaya ozimaya pshenitsa: dostizheniya, problemy, perspektivy). *Grain Economy of Russia.* 2009;(1):7-14. [in Russian] (Самофалова Н.Е. Иличкина Н.П., Ковтун Л.Н., Дубинина О.А., Белобородова Т.В. Твердая озимая пшеница: достижения, проблемы, перспективы. *Зерновое хозяйство России*. 2009;(1):7-14).

Singh R., Tiwari R., Priyamvada, Gupta R.K., Shoran J., Mishra B. 1RS.1BL translocation and grain yield as well as bread loaf volume in Indian wheats. *Cereal Research Communications*. 2009;37(3):441-448. DOI: 10.1556/CRC.37.2009.3.13

Tahmasebi S., Heidari B., Pakniyat H., Dadkhodaie A. Consequences of 1BL/1RS translocation on agronomic and physiological traits in wheat. *Cereal Research Communications.* 2015;43(4):554-566. DOI: 10.1556/0806.43.2015.016

Villareal R.L., Baiiueios O. Mujeeb-Kazi A. Agronomic performance of related durum wheat (*Triticum turgidum* L.) stocks possessing the chromosome substitution T1BL. IRS. *Crop Science.* 1997;37:1735-1740.

Zarco-Hernández J., Michelena A., Peña R.J. Agronomic performance of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) possessing the 1BL/1RS translocation cultivated at Mediterranean environments. In: C. Royo, M. Nachit, N. Di Fonzo, J.L. Araus (eds). *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges*. Zaragoza: CIHEAM; 2000. p.185-188.

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

Ляпунова О.А., Андреева А.С. Сорта и линии, пополнившие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):7-16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16

Lyapunova O.A., Andreeva A.S. Cultivars and lines added to the gene pool of VIR's durum wheat collection in 2000–2019. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):7-16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16

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/10.30901/2227-8834-2020-1-7-16

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
Lyapunova O.A. https://orcid.org/0000-0003-2164-4510
Andreeva A.S https://orcid.org/0000-0002-6754-2897

Фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гамаграссом

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23
УДК 636.085.33
Поступление/Received: 16.03.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Fodder qualities of heterotic hybrids from intergeneric crosses between maize and eastern gamagrass

П. А. ПАНИХИН [1, 2]*, В. А. СОКОЛОВ [1]

[1] Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, 630090 Россия, г. Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2
** panikhin@mcb.nsc.ru*
sokolov@mcb.nsc.ru

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

P. A. PANIKHIN [1, 2]*, V. A. SOKOLOV [1]

[1] Institute of Molecular and Cellular Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8/2 Acad. Lavrentieva Ave. Novosibirsk 630090, Russia
** panikhin@mcb.nsc.ru*
sokolov@mcb.nsc.ru

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

Урожайность зеленой массы и фуражные качества являются отправным моментом в выборе кормовых сельскохозяйственных культур. Кукуруза – растение С4 пути фотосинтеза, в связи с чем она максимально эффективно трансформирует энергию света в энергию химических связей, что в итоге приводит к наивысшей продуктивности с единицы площади посева. Ее зерно и зеленая масса обладают хорошими кормовыми качествами и активно используются в рационах крупного и мелкого рогатого скота, а также птицы. Дикий сородич кукурузы гамаграсс восточный *(Tripsacum dactyloides* L.) широко распространен на равнинах Северной и Южной Америки. К настоящему времени он получил всеобщее признание животноводов как пастбищная и фуражная культура. Так, в США создано и возделывается более 10 коммерческих сортов этого растения. Гамаграсс, также являясь растением С4 пути фотосинтеза, обладает высокой продуктивностью и фуражной ценностью получаемого из него сена. В наших исследованиях мы решили объединить хозяйственно ценные качества этих растений путем создания межродовых гибридов. В данной работе изложены результаты оценки фуражных качеств апомиктичных кукурузно-трипсакумных гибридов, где к 36 хромосомам гамаграсса были добавлены два генома кукурузы от линий, участвующих в гибридной селекции для получения семян F_1.

Полученные формы кукурузно-трипсакумных гибридов в течение нескольких лет постоянно демонстрируют бесполосеменное размножение и гетерозис по урожайности зеленой массы. Результаты зоотехнического анализа образцов показали, что гибриды, где к 36 хромосомам гамаграсса добавлены хромосомы линий, используемых в коммерческом семеноводстве для получения гетерозиса в F_1, превосходят по биохимическим показателям растения с добавлением 20 хромосом от одной из кукурузных линий, использованных в гибридизации. Теоретическая оценка урожайности зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов в пересчете на гектар площади составляет около 650 ц.

Ключевые слова: *Tripsacum dactyloides*, кукурузно-трипсакумные гибриды, зоотехнический анализ, сахара, крахмал, аминокислоты, урожайность зеленой массы.

Green biomass yield and fodder qualities are the starting point in the choice of forage crops. Maize, as a plant with the C4 pathway of photosynthesis, is highly efficient in transforming the energy of light into chemical bond energies, which ultimately leads to the highest yield per unit area of cultivated land. Its grain and green biomass possess good fodder qualities and are actively used in feed rations for cattle, smaller ruminants, and poultry. Eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides* L.), a wild relative of maize, is widespread over the plains of North and South Americas. To date, it has received universal recognition among breeders as a forage and fodder crop. More than 10 commercial cultivars have already been developed and cultivated in the United States. Eastern gamagrass is a C4 plant as well, characterized by high yield and high feed value of hay. We decided to combine in our research economically valuable qualities of this plant by developing apomictic intergeneric hybrids. This paper presents the results obtained in the process of assessing fodder qualities of apomictic maize × *Tripsacum* hybrids, where two maize genomes from the lines participating in hybrid selection for F_1 seeds were added to the 36 chromosomes of eastern gamagrass. The maize × *Tripsacum* hybrid forms, produced during a number of years, persistently demonstrated an apomictic reproduction pattern and heterosis in green biomass productivity. Zootechnical analysis of plant samples showed that the hybrids, in which chromosomes of the lines used in commercial seed production to obtain heterosis in F_1 had been added to the 36 chromosomes of eastern gamagrass, exceeded in their biochemical indicators the plants, in which 20 chromosomes from one of the maize lines earlier used in hybridization at our laboratory had been added. A theoretical estimate of green biomass yield calculated per hectare for the maize × *Tripsacum* hybrids is about 65 tons.

Key words: *Tripsacum dactyloides*, maize × *Tripsacum* hybrids, zootechnical analysis, sugar, starch, amino acids, green biomass yield.

Введение

Абсолютно большее число площадей под кукурузу засевается гибридными сортами, проявляющими эффект гетерозиса. Однако это достаточно дорогая технология, так как значительные площади необходимы для поддержания родительских линий. Поэтому весьма желательно получать семенной материал, устойчиво экспрессирующий эффект гибридной силы в последовательных поколениях. Идея закрепления гетерозиса у кукурузы через размножение, исключающее сегрегацию генов, была предложена замечательными учеными, сотрудниками Н. И. Вавилова – Г. Д. Карпеченко и М. С. Навашиным (Navashin, 1933) в тридцатых годах XX века. Однако проект по получению апомиктичной кукурузы был начат только в 1958 году. В качестве источника генов апомиксиса предлагался ее дикий сородич – гамаграсс восточный (*Tripsacum dactyloides* L.) (Petrov, 1957, 1964). Как и многие другие злаки, гамаграсс имеет полиплоидные ряды 2*n* = (2x = 36; 3x = 54; 4x = 72; 6x = 108). Но в природе наиболее распространены диплоидные и тетраплоидные формы (De Wet et al., 1982; Springer, Dewald, 2004), при этом диплоиды размножаются половым путем, а полиплоиды – бесполосеменным (*апомиктичным*) (Burson et al., 1990). Способность произрастать в широком ареале агроэкологических и климатических условий является уникальным свойством гамаграсса, а высокие урожаи даваемого сена (до 13 т/га), обладающего близкой к люцерне фуражной ценностью, сделали его культурой, весьма востребованной в США, где в настоящее время возделывается более 10 коммерческих сортов этого растения (Roberts, Kallenbach, 1999). В значительной степени благодаря его широкому использованию решены многие проблемы кормопроизводства и пастбищ для крупного рогатого скота (Horner et al., 1985; Coblentz et al., 2010; Burns et al., 1992). Продолжительное время гамаграсс привлекает исследователей как источник генов устойчивости для кукурузы, поскольку, являясь ее отдаленным сородичем, может гибридизировать с ней и передавать ценные признаки устойчивости к биотическим и абиотическим факторам (Eubanks, 2000, 2006). В лаборатории цитологии и апомиксиса растений Института молекулярной и клеточной биологии (ИМКБ) СО РАН (до 2009 года лаборатория входила в состав Института цитологии и генетики [ИЦиГ] СО РАН) впервые в мире были получены апомиктичные гибриды кукурузы с гамаграссом (Belousova et al., 1972). Эта работа проводилась с целью закрепления гетерозиса. В результате проведенных исследований было показано, что признак бесполосеменного размножения контролируется большим пулом генов и для его экспрессии необходимо присутствие девяти определенных хромосом дикого родителя (Belova et al, 2010). Наличие у гибридов значительного количества генетического материала от гамаграсса сопровождается экспрессией нежелательных признаков, таких как многостебельность, малая величина початков, полная мужская и частичная женская стерильность.

В этой связи нами был предложен иной путь гибридизации и получения перспективного исходного селекционного материала. Поскольку гамаграсс дает высокий урожай качественного фуража, его гибриды с кукурузой могут сохранить этот признак, так как апомиксис закрепляет гетерозис в F_1 и во всех последующих поколениях, и при этом быть более продуктивными в расчете на единицу площади. Используя изложенную идею, путем двухэтапной гибридизации мы создали апомиктичные 56-хромосомные гибриды, где к 36 хромосомам гамаграсса добавили два генома кукурузы от линий, участвующих в получении гетерозисных форм F_1 (Panikhin et al., 2014).

Цель настоящего исследования – оценка фуражных качеств гибридов.

Материалы и методы

Исходные родительские формы. *T. dactyloides* (Td) (2*n* = 4x = 72) – получен из Ташкентского ботанического сада, куда был привезен Н. И. Вавиловым из Мексики. С 1960 года и по настоящее время размножается в лаборатории вегетативно. Кукурузные (*Zea mays* (Zm)) линии 573 и 611 селекции НПО «КОС-Маис», участвующие в создании простого гетерозисного гибрида Кубанский 601.

Получение 56-хромосомных апомиктичных гибридов проводили в два этапа. На первом этапе гибридизировали родительские кукурузные линии с *T. dactyloides,* получая 46-хромосомных F_1 для линии 573 – 2*n* = 46 = (10Zm линия 573 + 36Td), для линии 611 – 2*n* = 46 = (10Zm линия 611 + 36Td). Опыление проводили по методике П. Мангельсдорфа и Р. Ривза (Mangelsdorf, Reeves, 1931). На втором этапе гибридизировали полученные F_1, опыляя каждую гибридную комбинацию пыльцой каждого кукурузного родителя с получением гибридов общего геномного состава 2*n* = 56 = (20Zm + 36Td). Фуражные качества исследовали у 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов следующих геномных комбинаций:

№ 646 – 2*n* = 56 = [(10Zm линия 611 + 36Td) + 10Zm линия 573];

№ 647 – 2*n* = 56 = [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 573];

№ 648 – 2*n* = 56 = [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 611].

В качестве контроля использовали тетраплоидную белозерную кукурузу с принятым названием «Тетраплоид Шумного» 2*n* = 4x = 40 – № 649.

Гибридные растения отбирали на стадии выметывания колоса, тетраплоидную кукурузу – в стадии молочной спелости зерна. Для исследования отбирали по 10 растений каждого образца в случайном порядке. Срезанные растения сушили 30 дней в тени на открытом воздухе, после чего измельчали и формировали среднюю пробу массой в 2 кг для каждой геномной комбинации (Правила отбора проб искусственно высушенных травяных кормов; http://docs.cntd.ru/document/1200113892 п.4), которую и анализировали.

Исследование содержания в образцах сухого вещества и влаги, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, сырой золы, сахара и крахмала, аминокислот было проведено в лаборатории биохимии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН[1]. Исследование аминокислот проводилось на аппарате NIRSystems-4500. Анализ спектров образцов осуществлялся в диапазоне 1300–2400 нм с шагом 1 нм и использованием калибровочных уравнений.

Оценку продуктивности зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов проводили в 2018 году на экспериментальном участке на базе ООО ИПА «Отбор», пос. Комсомольский Кабардино-Балкарской республики. Площадь учетного участка составила 633 м^2; на

1 Сибирский научно-исследовательский и проектно-технологический институт животноводства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Сибирского отделения Российской академии наук

нем произрастало 323 гибрида в 17 рядах с расстоянием между рядами и растениями по 1,4 м.

Достоверность различий изучаемых признаков, отвечающих за потенциальную урожайность зеленой массы, при сравнении гибридных комбинаций оценивали по *t*-критерию Стьюдента с использованием математико-статистических таблиц значения *t* при данном числе степеней свободы и величине вероятности *p*. Величины признаков предварительно проверяли на нормальность распределения через сравнение среднего значения, моды и медианы; также рассчитывали показатели асимметрии и эксцесса. Достоверность равенства дисперсий в паре выборок для каждого признака оценивали по критерию Фишера при уровне значимости ⍰ = 0,05. Расчеты были выполнены в программе Microsoft Office Excel 2007.

Результаты

Результаты биохимического анализа средней пробы образцов высушенных и измельченных растений кукурузно-трипсакумных гибридов и кукурузного контроля приведены в таблице 1.

Таблица 1. Биохимические показатели образцов, %

Table 1. Biochemical indicators of samples, %

№ п/п	Показатели Indicators	Регистрационный номер образца Sample registration number			
		№ 646*	№ 647*	№ 648*	№ 649*
1	Сухое вещество	97,61	97,42	97,5	97,62
2	Влажность	9,55	9,94	9,44	11,18
3	Сырой протеин	11,23	9,8	10,92	13,84
4	Сырой жир	1,03	0,29	0,83	0,23
5	Сырая клетчатка	28,4	31,03	30,9	20,18
6	Сырая зола	6,62	5,89	5,66	4,72
7	Сахара	13,32	15,82	18,89	12,07
8	Крахмал	0,58	7,2	4,46	27,64
Аминокислоты Amino acids					
9	Лизин	0,29	0,28	0,33	0,37
10	Лейцин	0,56	0,59	0,67	0,43
11	Изолейцин	0,37	0,35	0,31	0,20
12	Метионин	0,07	0,08	0,05	0,11
13	Цистеин	0,03	0,04	0,03	0,06
14	Фенилаланин	0,49	0,45	0,57	0,38
15	Тирозин	0,32	0,24	0,42	0,31
16	Треонин	0,34	0,32	0,42	0,39
17	Триптофан	0,19	0,23	0,21	0,19
18	Валин	0,52	0,49	0,69	0,60
19	Аспаргин	1,02	0,98	1,25	0,79
20	Серин	0,32	0,25	0,30	0,55
21	Глутамин	0,89	0,86	1,11	1,04
22	Глицин	0,20	0,29	0,32	0,37
23	Аланин	0,43	0,53	0,60	0,45
24	Аргинин	0,34	0,24	0,23	0,35
25	Гистидин	0,18	0,21	0,22	0,15
26	Пролин	0,51	0,63	0,68	0,50

* Соответствие регистрационных номеров образцов геномным комбинациям см. в разделе «Материалы и методы»

* For compliance of sample registration numbers with genome combinations, see the Materials and Methods Section

Результаты содержания сухого вещества в исследованных образцах (см. табл. 1) говорят о незначительных различиях между ними. Более высокая остаточная влажность у образца № 649, возможно, связанна с наличием у него початка. Сравнение кукурузы и кукурузно-трипсакумных гибридов показывает превосходство контроля (образец № 649) по 10 показателям: сырой протеин, сырая зола, сырая клетчатка, крахмал и аминокислоты: лизин, метионин, цистеин, серин, глицин, аргинин, причем по пяти показателям контроль показывает абсолютное превосходство – сырой протеин, сырая зола, сырая клетчатка, крахмал и серин.

Видимо, такие высокие показатели связаны с фазой уборки кукурузы, а именно молочной спелостью зерна и наличием крупного початка, тогда как початки кукурузно-трипсакумных гибридов (рис. 1), скорее напоминают колос (рис. 2). Образцы гибридов, подвергнутых анализу, собирались не опылёнными, поэтому початки в их составе не содержали зёрен.

Из сравнительного анализа образцов видно, что показатели у № 646 и 648 выше, чем у № 647, по 20 параметрам, за исключением крахмала, по которому образец № 647 преобладает над № 648 с разницей в 1,5 раза, а над образцом № 646 – на порядок, и некоторых аминокислот: метионина, цистеина и триптофана. Сравнение образцов № 646 и № 648 фиксирует наиболее значительные различия по сырому протеину, сырому жиру, сырой золе, сахару и крахмалу, а также аминокислотам – лейцину, фенилаланину, тирозину, треонину, валину, аспаргину, глутамину, глицину, аланину и пролину.

Таким образом, результаты биохимического исследования показывают, что образцы № 646 и 648 по сумме показателей обладают лучшими фуражными качествами по сравнению с образцом № 647. В то же время совокупно образцы № 646 и 647 превосходят образец № 648 по зоотехническим показателям, за исключением содержания сырой золы и крахмала, а образец № 648 превосходит образцы № 646 и 647 по большинству аминокислот.

В процессе подготовки все образцы были подвергнуты длительной естественной сушке, при которой у срезанных растений изменяется состав химических компонентов вследствие двух последовательно проходящих процессов: первый – физиолого-биохимический (голодный обмен) во время увядания, второй – биохимический (автолиз) при досушке. Общий процент потерь питательных веществ при естественной сушке может достигать 35–50% (Pavlovsky et al., 2010).

Рис. 1. Растение 56-хромосомного кукурузно-трипсакумного гибрида

Fig. 1. A plant of the 56-chromosome maize × *Trypsacum* hybrid

Рис. 2. Колосья 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов

Fig. 2. Spikes of the 56-chromosome maize × *Trypsacum* hybrids

Одним из видов кормов, заготавливаемых путем естественной сушки, является сено. Нормативные показатели оценки питательности сена приведены в таблице 2 (Methodological Guidelines…, 2002).

Сравнение данных зоотехнического анализа образцов кукурузно-трипсакумных гибридов с требованиями, предъявляемыми к качеству и питательности грубых кормов, в частности сена, наводят на мысль о том, что образцы № 646, 647 и 648 могут быть отнесены к 1–2-му классу сена по содержанию сухого вещества, сырой клетчатки и сырой золы.

Возможное использование гибридов в качестве фуражной культуры требует оценить их теоретическую урожайность, а также выяснить, превосходит ли форма, содержащая гаплоидные наборы родительских кукурузных линий $2n = 56$ = [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 611], и таковую, полученную на основе только одной из них $2n = 56$ = [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 573]. Для подсчета и сравнения использовали выборки из соответственно 45 и 44 растений вышеозначенных гибридных комбинаций (табл. 3).

Являясь кустовым злаком, гамаграсс передает признак многостебельности и кукурузно-трипсакумным гибридам, урожайность которых обеспечивается в основном листостебельной массой. В таблице 3 приведены средние значения и средние квадратичные отклонения признаков, влияющих на урожайность зеленой массы.

При сравнении гибридных комбинаций достоверность различий изучаемых признаков оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента при $v = 87$ и $t_{кр} = 1{,}9901$ для $p < 0{,}05$. Предварительная проверка нормальности распределения значений признаков из таблицы 3 показала, что каждое среднее значение примерно равно моде и медиане, а значения асимметрии и эксцесса мало отличаются от нуля. На этом основании распределения значений признаков можно считать нормальными. Сравнение дисперсий выборок по каждому признаку показало, что они попарно равны. Проверка гипотезы о равенстве генеральных средних установила, что для признаков «высота растения» и «масса одного растения» экспериментальные значение критерия Т составили $t_{nabl} = 1{,}778$ и $t_{nabl} = 0{,}706$ соответственно и не попали в критическую область $T < t_{кр}$, что говорит о равенстве генеральных средних и отсутствии достоверных различий между гибридными комбинациями по данным изученным характеристикам. Тогда как для признаков «количество стеблей» и «масса одного стебля» экспериментальные значения критерия Т составили $t_{nabl} = 3{,}742$ и $t_{nabl} = 4{,}75$ соответственно и попали в критическую область $T \geq t_{кр}$, что означает достоверные различия между гибридными комбинациями для данных исследованных признаков.

Таблица 2. Нормативные требования оценки качества и питательности сена сеянного злакового

Table 2. Regulatory requirements for assessing the quality and nutritional value of sown grass hay

Показатели Indicators	Класс Category		
	1	2	3
Массовая доля сухого вещества, %, не менее	83	83	83
Массовая доля в сухом веществе сена			
Сырого протеина, %, не менее	12	10	8
Сырой клетчатки, %, не более	32	34	36
Сырой золы, %, не более	10	11	12

Таблица 3. Сравнение теоретической урожайности 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов разного геномного состава

Table 3. Comparison of theoretical yields between the 56-chromosomal maize × *Trypsacum* hybrids with different genomic compositions

Признаки The features	Гибридная комбинация 2n = 56 Hybrid combination 2n = 56	
	[(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 573]	[(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 611]
Высота растения, см	229,75 ± 21,07	237,64 ± 20,34
Количество стеблей, шт	18,52 ± 3,87***	15,51 ± 3,64
Масса одного стебля, кг	0,84 ± 0,13	0,97 ± 0,13***
Масса одного растения, кг	15,56 ± 3,25	15,05 ± 3,53
Теоретическая урожайность ц/га	620 – 948	580 – 936

Звездочками отмечена достоверность отличий между гибридными комбинациями: *** $p < 0{,}001$.

Таким образом, сравнение средних значений изученных признаков показало, что достоверные различия между гибридными комбинациями по количеству стеблей на растение и массе одного стебля тем не менее не дают достоверных различий по массе одного растения. Однако на основании тех же данных можно заключить, что примерно одинаковая средняя масса растения у приведенных гибридных комбинаций формируется либо за счет количества подгонов (дополнительные стебли) при меньшей массе одного стебля, либо большей массы подгона при меньшем их количестве. Таким образом, можно предположить, что для гибридной комбинации, несущей в своем составе гаплоидные наборы обеих кукурузных линий, характерно более интенсивное протекание обменных процессов, ведущих к более массивным подгонам.

Практический учет зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов проводили в конце сентября – начале октября. Общая масса зеленых частей гибридов на учетном участке составила 4202,23 кг. В пересчете на гектар при той же густоте стояния растений (примерно 5041 растение) продуктивность составит 65 583,41 кг.

Выводы

1. Биохимический анализ показал, что контрольный образец (тетраплодиная кукуруза) по некоторым показателям превосходит кукурузно-трипсакумные гибриды, но это, скорее всего, объясняется тем, что контроль имеет крупный початок и взят в работу в фазе, когда зерно было в состоянии молочной спелости, тогда как кукурузно-трипсакумные гибриды в анализируемых образцах зерна не содержали.
2. Сравнение биохимических и зоотехнических показателей среди группы кукурузно-трипсакумных гибридов позволило установить, что комбинации, где присутствуют геномы обоих кукурузных родителей, используемых в гетерозисной селекции (образцы № 646 и 648), превосходят форму с диплоидным набором хромосом от линии 573 (образец № 647).
3. Длительный период естественной сушки без плющения стеблей, видимо, негативным образом сказался на фуражной ценности кукурузно-трипсакумных гибридов. Тем не менее, даже при этом образцы обладают достаточно высокими нормативными качествами, предъявляемыми к грубым кормам по общепринятым нормативам, а содержание сырой клетчатки и золы, негативно влияющих на пищеварение крупного рогатого скота, у изученных образцов даже ниже нормативного.
4. Масса куста кукурузно-трипсакумного гибрида с родительской кукурузной комбинацией [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 573] формируется за счет количества подгонов (дополнительные стебли), а с гетерозисной комбинацией [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 611] – за счет массы подгона. Практическая оценка урожайности кукурузно-трипсакумных гибридов в пересчете на гектар площади дала выход зеленой массы в 65 т.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 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».

References/Литература

Belousova N.I., Laykova L.I., Fokina E.S. Apomixis in the second and third generations of maize × *Trypsacum* hybrids (Apomiksis vo vtorom i tretyem pokoleniyakh gibridov kukuruzy s tripsakum). *Izvestija Sibirskogo otdeleniya AN SSSR = News of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences.* 1972;10(4):43-45. [in Russian] (Белоусова Н.И., Лайкова Л.И., Фокина Е.С. Апомиксис во втором и третьем поколениях гибридов кукурузы с трипсакум. *Известия Сибирского отделения АН СССР*. 1972;10(4):43-45).

Belova I.V., Tarakanova T.K., Abdyrahmanova E.A., Sokolov V.A., Panikhin P.A. Chromosome control of apomixis in maize-gamagrass hybrids. *Russian Journal of Genetics*, 2010;46(9):1055-1057. [in Russian] (Белова И.В., Тараканова Т.К., Абдырахманова Э.А., Соколов В.А., Панихин П.А. Хромосомный контроль апомиксиса у гибридов кукурузы с гамаграссом. *Генетика*. 2010;46(9):1055-1057). DOI: 10.1134/S1022795410090103

Burns J.C., Fiser D.S., Pond K.R., Timothy D.H. Diet characteristics, digesta kinetics, and dry matter intake of steers grazing eastern gamagrass. *Journal of Animal Science.* 1992;70(4):1251-1261. DOI: 10.2527/1992.7041251x

Burson B.L., Voigt P.W., Sherman R.A., Dewald C.L. Apomixis and sexuality in eastern gamagrass. *Crop Science*. 1990;30(1):86-89. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000010020x

Coblentz W.K., Jokela W.E., Hoffman P.C., Bertram M.G. Unique dairy applications for eastern gamagrass forages in central Wisconsin: I. Yield potential. *Agronomy Journal.* 2010;102(6):1710-1719. DOI: 10.2134/agronj2010.0259

De Wet J.M.J., Harlan J.R., Brink D.E. Systematics of *Tripsacum dactyloides* (*Gramineae*). *American Journal of Botany.* 1982;69(8):1251-1257. DOI: 10.2307/2442749

Eubanks M.W. A genetic bridge to utilize *Tripsacum* germplasm in maize improvement. *Maydica.* 2006;51(2):315-327.

Eubanks M.W. The origin of maize: Evidence for *Tripsacum* ancestry. *Plant Breeding Reviews.* 2000;20:15-66. DOI: 10.1002/9780470650189.ch2

Horner J.L., Bush L.J., Adams G.D., Taliaferro C.M. Comparative Nutritional Value of Eastern Gamagrass and Alfalfa Hay for Dairy Cows. *Journal of Dairy Science.* 1985;68(10):2615-2620. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(85)81145-0

Mangelsdorf P.C., Reeves R.G. Hybridization of Maize, Tripsacum, and Euchlaena. *Journal of Heredity*, 1931;22(11):329-343. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a103399

Methodological Guidelines for Evaluation of Feed Quality and Nutritive Value (Metodicheskiye ukazaniya po otsenke kachestva i pitatelnosti kormov). Ministry of Agriculture of the Russian Federation; 2002. [in Russian] (Методические указания по оценке качества и питательности кормов. МСХ РФ; 2002). URL: http://docs.cntd.ru/document/1200113892 [дата обращения 10.11.2018].

Navashin M.S. New opportunity in breeding (Novaya vozmozhnost v selektsii). *Semenovodstvo = Seed Production.* 1933;(2):11-17. [in Russian] (Навашин М.С. Новая возможность в селекции. *Семеноводство*. 1933;(2):11-17).

Panikhin P.A., Abdyrakhmanova E.A., Blakey C.A., Sokolov V.A. The Maize–Gamagrass Hybrids (2*n* = 56, 20*Zm* + 36*Td*) Carrying Genomes of the Lines Used for

Obtaining Heterosis F1. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*. 2014;88). Available from: https://mnl.maizegdb.org/88/html/06panikhin.htm [accessed Feb. 7, 2019].

Pavlovsky V.K., Grakun V.V., Burdyko V.M., Burdyk P.I., Privalov F.I., Vasko P.P., Abraskova S.V., Samosuk V.G., Tchebotarev V.P., Labotsky I.M., Vakhonin N.K., Meerovsky A.S., Birukovich A.L. Technologies and maintenance of forage conservation including grasses and silage cultures. *Melioratsiya = Land Reclamation*. 2010;2(64):192-215. [in Russian] (Павловский В.К., Гракун В.В, Бурдыка В.М., Бурдук П.И., Привалов Ф.И., Васько П.П., Абраскова С. В., Самосюк В.Г., Чеботарёв В.П., Лабоцкий И.М., Вахонин Н.К., Мееровский А.С., Бирюкович А.Л. Технологии и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур. *Мелиорация*. 2010;2(64):192-215).

Petrov D.F. On the possibility of using apomixis for fixing heterosis in linear hybrids of maize (O vozmozhnosti ispolzovaniya apomiksisa dlya zakrepleniya geterozisa u linejnykh gibridov kukuruzy). In: *All-Union Conference on the Production of Hybrid Maize Seeds* (*Vsesoyuznoye soveshchaniye po proizvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy*). Moscow: USSR Ministry of Agriculture Publishers; 1957. p.173-176. [in Russian] (Петров Д.Ф. О возможности использования апомиксиса для закрепления гетерозиса у линейных гибридов кукурузы. В кн.: *Всесоюзное совещание по производству гибридных семян кукурузы*. Москва: Изд-во Министерства сельского хозяйства СССР; 1957. С.173-176).

Petrov D.F. Apomixis and distant hybridization (Apomiksis i otdalennaya gibridizatsiya). In: Petrov D.F. (ed.). *Cytology and breeding of cultivated plants* (*Tsitologiya i selektsiya kulturnykh rasteniy*). Novosibirsk: Ed. & Publ. Dept. of Sib. Div., USSR Acad. Sci.; 1964. p.6-17. [in Russian] (Петров Д.Ф. Апомиксис и отдаленная гибридизация. В кн.: *Цитология и селекция культурных растений* / под ред. Д.Ф. Петрова. Новосибирск: Ред.-изд. отд. СО АН СССР; 1964. С.6-17).

Roberts C., Kallenbach R. Eastern Gamagrass. University of Missouri; 1999. Available from: https://extension2.missouri.edu/g4671 [accessed Jan. 25, 2019]

Springer T.L., Dewald C.L. Eastern Gamagrass and Other *Tripsacum* species. In: Moser L.E., Burson B.L., Sollenberger L.E. (eds). *Warm-Season (C_4) Grasses*. Madison, WI; 2004. p.955-974.

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

Панихин П.А., Соколов В.А. Фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гамаграссом. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):17-23. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23

Panikhin P.A., Sokolov V.A. Fodder qualities of heterotic hybrids from intergeneric crosses between maize and eastern gamagrass. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):17-23. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23

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/10.30901/2227-8834-2020-1-17-23

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
Panikhin P.A. https://orcid.org/0000-0002-7158-7449
Sokolov V.A. https://orcid.org/0000-0002-5824-0248

Изменчивость периода «всходы – колошение» яровых образцов ячменя из Дагестана

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-24-29
УДК 633.16:631.524
Поступление/Received: 20.01.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Variability of the period between germination and heading in spring barley accessions from Dagestan

И. А. ЗВЕЙНЕК[1], Р. А. АБДУЛЛАЕВ[1], Б. А. БАТАШЕВА[2], Е. Е. РАДЧЕНКО[1]

[1] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
izv-spb1@mail.ru

[2] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Дагестанская опытная станция – филиал ВИР, 368612 Россия, Республика Дагестан, Дербентский район, с. Вавилово

I. A. ZVEINEK[1], R. A. ABDULLAEV[1], B. A. BATASHEVA[2], E. E. RADCHENKO[1]

[1] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
izv-spb1@mail.ru

[2] N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources, Dagestan Experiment Station of VIR, Vavilovo Village, Derbentsky District, Republic of Dagestan 368612, Russia

Актуальность. В течение двух лет на юге Республики Дагестан (г. Дербент) и на северо-западе России (г. Санкт-Петербург, Пушкин) изучали продолжительность периода «всходы – колошение» образцов ячменя из Дагестана. Исследование скорости развития ячменя в контрастных климатических условиях позволяет оценить паратипическую изменчивость и норму реакции коллекционных образцов для выявления необходимых для селекции адаптивно ценных форм. **Материалы и методы.** При весеннем сроке сева изучили разнообразие 173 яровых форм ячменя по продолжительности периода «всходы – колошение». Для сравнения образцов, высевавшихся в различающихся по климатическим условиям пунктах, рассчитывали критерий «превышение продолжительности периода "всходы – колошение" образца над его минимальным значением по выборке». **Результаты и выводы.** Образец к-15013 оказался самым скороспелым в разных эколого-географических зонах страны. В Дагестане скороспелостью характеризовались образцы к-11439 и к-11475, которые имели низкую норму реакции в 2016 и 2017 г. На скорость развития ячменя в Дербенте и Санкт-Петербурге существенно влияли условия среды. Дагестанские ячмени на северо-западе России были более скороспелыми по сравнению с югом Дагестана во все годы изучения. Установлено, что яровизирующие температуры являются главным фактором скороспелости дагестанского местного ячменя в условиях ареала его обитания. Длинный день и отсутствие высоких температур в Санкт-Петербурге способствовали скороспелости ячменя.

Ключевые слова: *Hordeum vugare*, скороспелость, яровизация, условия среды.

Background. The genetic variability of the period between the germination and heading phases was analyzed in barley accessions from the Republic of Dagestan planted in the southern area of Dagestan (Derbent) and the Northwest of Russia (Pushkin, St. Petersburg). Testing barley development rates under contrasting climate conditions of Russia makes it possible to assess the paratypic variability and a norm of reaction in the tested accessions in order to identify environmentally adaptable plant forms useful for breeding. **Materials and methods.** Under spring sowing, 173 spring barley accessions were studied for the duration of the period from germination to heading. To compare the earliness of accessions planted at two sites with different sowing schedules, "the rate by which the germination-to-heading period of an accession exceeded its minimum value across the sample" was used as a criterion for calculations. **Results and conclusions.** Accession k-15013 was the earliest at both test sites during two years of studying. In Dagestan, accessions k-11439 and k-11475 with a low norm of reaction in 2016 and 2017 were also identified as early. Environmental conditions were found to have a significant effect on the development rate of barley accessions in Derbent and St. Petersburg. Dagestani barleys in the Northwest of Russia ripened earlier than in the south of Dagestan during all the years of study. Vernalization temperatures proved to be the main factor affecting maturation schedules of local Dagestani barleys in the area of their distribution. A longer day and the absence of high temperatures in St. Petersburg contributed to the earliness of barley accessions.

Key words: *Hordeum vugare*, earliness, vernalization, environmental conditions.

Введение

Высокая экологическая пластичность ячменя культурного (*Hordeum vugare* L.) является залогом успеха селекции этой культуры. Продолжительность вегетационного периода – свойство, зависящее от среды обитания. Различия сортов ячменя по скороспелости обусловливаются дифференциальной адаптированностью к природно-климатическим факторам (Lukyanova et al., 1990).

Продолжительность развития ячменя определяется генами, которые контролируют тип развития, слабую чувствительность к фотопериоду и собственно скороспелость. Тип развития детерминирован генами

Sh, *Sh2* и *Sh3*, которые впоследствии были обозначены *VRN-H1*, *VRN-H2*, *VRN-H3* (Takahashi, Yasuda, 1956; 1971). Идентифицировано 5 главных генов и 9 локусов количественных признаков, контролирующих время колошения. Среди них определяющие слабую чувствительность к фотопериоду гены *Ppd-H1* и *Ppd-H2* (photoperiod response), а также контролирующие реакцию на яровизацию гены *VRN-H1* и *VRN-H2*, локализация которых совпадает с положением ранее идентифицированных генов *Sh* и *Sh2*. Доминантный аллель *Ppd-H1* контролирует быструю реакцию на удлинение фотопериода и раннее колошение в условиях длинного дня, тогда как аллель *Ppd-H2* ускоряет наступление колошения в условиях короткого дня. Существенное влияние на скорость развития оказывают также гены *eps*, контролирующие собственно скороспелость (earliness *per se*) (Laurie et al., 1994; 1995). Скороспелость (early maturity) и слабая чувствительность к фотопериоду контролируется генами *Eam5*, *Eam6*, *eam7*, *eam8*, *eam9* и *eam10* (Franckowiak, Lundqvist, 2012).

Дагестан, благодаря разнообразию дикорастущей и возделываемой флоры, издавна привлекал внимание многих выдающихся исследователей. Н. И. Вавилов считал Дагестан одним из интереснейших регионов формообразования культурных растений. Коллекция Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) насчитывает 282 образца *H. vulgare* из Дагестана. Информация об их скороспелости довольно фрагментарна. Исследование части коллекции показало, что местные ячмени Дагестана являются преимущественно среднеспелыми (Batasheva et al., 2014). С помощью молекулярных маркеров был выявлен значительный полиморфизм дагестанских ячменей, показана гетерогенность большинства изученных форм (Abdullaev et al., 2014). Выделили 4 источника слабой фотопериодической чувствительности – предполагаемых носителей аллеля *eam8*. Молекулярно-генетический анализ позволил выявить у растений образца к-14891 новую мутацию в смысловой последовательности гена *eam8* (Abdullaev et al., 2015). В наших исследованиях на протяжении трех лет анализировалась продолжительность периода «всходы – колошение» 265 образцов ячменя из Дагестана в Дербенте и Санкт-Петербурге. Изученные формы во все годы изучения были более скороспелыми в Дагестане по сравнению с северо-западом РФ. Яровизирующие температуры (подзимний срок сева), короткий день и высокие температуры в период вегетации способствовали скороспелости ячменя (Zveinek et al., 2016).

Цель настоящих исследований – изучить разнообразие яровых дагестанских ячменей по продолжительности периода «всходы – колошение» на юге Дагестана и на северо-западе России при отсутствии яровизирующих температур (яровой посев).

Материалы и методы

Климат на Дагестанской опытной станции – филиале ВИР (ДОС ВИР), расположенной у Каспийского моря вблизи г. Дербент, характеризуется мягкой и непродолжительной зимой, ранней весной, умеренно-жарким сухим летом и влажной теплой осенью. Климатические условия на территории научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР), расположенной в 30 км от Санкт-Петербурга, характеризуются переходом морского климата в слабо континентальный: зима умеренно холодная, лето влажное и умеренно теплое. В таблице 1 представлен гидротермический режим в период полевых наблюдений («всходы – колошение» ячменя). Среднемноголетние различия по температуре воздуха и осадкам в двух пунктах изучения достаточно очевидны. В 2016 г. среднемесячная температура воздуха в период начала вегетации (от всходов до выхода в трубку) в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (ППЛ ВИР) (май, июнь) была чуть выше, чем на ДОС ВИР (апрель, май), а в период колошения – наоборот. Колошение в 2017 г. проходило при значительно более высокой температуре на ДОС ВИР. Обеспеченность влагой в 2016 и 2017 г. в ППЛ ВИР была несколько выше в начале вегетации, а в период колошения – значительно выше, чем на ДОС ВИР.

Таким образом, условия проведения экспериментов различались: ДОС ВИР – короткий день, высокие температуры во время колошения, малое количество осадков; ППЛ ВИР – длинный день, низкие положительные температуры в период колошения, высокий уровень осадков. Эксперименты проводили в отсутствие яровизирующих температур (яровой посев в обоих пунктах изучения).

Таблица 1. Погодные условия в период «всходы – колошение» ячменя

Table 1. Weather conditions during the germination-to-heading period in barley

Месяц	Метеорологические условия вегетации							
	2016 г.				2017 г.			
	ППЛ ВИР		ДОС ВИР		ППЛ ВИР		ДОС ВИР	
	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм.	Температура, °С	Осадки, мм	Температура, °С	Осадки, мм
Апрель	▯	▯	13/9,1*	14,7/19	▯	▯	10,5/9,1	16,1/19
Май	17,5/10,4	17,8/42,2	18,2/15,9	15,3/25	9,4/10,4	13,4/42,2	17,1/15,9	15,9/25
Июнь	18/15,4	63,8/59,4	23,5/21,3	54,8/18	13,6/15,4	68,5/59,4	22,5/21,3	34,5/18
Июль	19,6/17,8	174,2/72,2	▯	▯	16,5/17,8	122,5/72,2	▯	▯

* Среднемесячное значение / среднемноголетнее значение

* Mean monthly value / mean for all the years of study

В полевых опытах использовали общепринятую для данной зоны исследований агротехнику. Образцы высевали вручную во второй половине апреля (ДОС ВИР) и во второй половине мая (ППЛ ВИР) на делянках площадью 1 кв. м. Фазу полных всходов отмечали датой, когда на поверхности почвы показались развернувшиеся в верхней части листочки более 75% растений на делянке. Колошение отмечали при выдвижении колоса из влагалища последнего листа наполовину. Колошение считали полным при выколашивании 75% растений (Loskutov et al., 2012).

В 2016 г. при яровом посеве изучили 121 яровой образец на ДОС ВИР и 169 – в ППЛ ВИР; в 2017 г. – 173 (ДОС ВИР) и 172 (ППЛ ВИР) образца. Сравнили также скороспелость яровых ячменей, высевавшихся в двух пунктах изучения (т. е. 4 выборки): 2016 г. – 111 образцов, 2017 г. – 149. Кроме того, сравнили 100 форм, которые высевали в течение двух лет в двух регионах (еще 4 выборки). Для корректного сравнения скорости развития образцов в двух разных эколого-географических зонах рассчитывали критерий «превышение периода “всходы – колошение” данного образца над его минимальным значением по выборке» (ППВК), то есть из значения скорости развития образца до колошения вычитали минимальное, которое наблюдали по всем изученным в данном пункте образцам (Zveinek et al., 2016).

Статистические показатели вычисляли в программе Excel. Достоверность различий рассчитывали по критерию Стьюдента t (Dospekhov, 1985).

Результаты и обсуждение

В 2016 г. на посевах ППЛ ВИР размах варьирования продолжительности периода «всходы – колошение» составил 35–62 дня, в среднем 45,4 ± 0,3 дня, при стандартном отклонении 3,77; на ДОС ВИР период развития до колошения варьировал от 42 до 76 дней, в среднем 55,9 ± 0,7 дня, при более высоком значении стандартного отклонения (7,36). На следующий год в Санкт-Петербурге варьирование признака составило 40–56 дней при среднем значении 47,4 ± 0,2 дня и стандартном отклонении 2,85; в Дербенте – 38–56 дней, 49,9 ± 0,2 дня, стандартное отклонение 2,73. На размах варьирования и среднее значение скорости развития дагестанских ячменей влияли погодные условия. В 2016 г. в ППЛ ВИР признак варьировал меньше, чем на ДОС ВИР, а в 2017 г. – примерно одинаково в обоих пунктах.

В 2016 г. в условиях ППЛ ВИР наиболее скороспелыми (35–39 дней) были 5 образцов: к-11439, к-11475, к-15013, к-15033, к-23823; на ДОС ВИР скороспелостью (42–46 дней) характеризовались образцы к-11439, к-11475, к-15013, к-21805, к-26291, к-26292. В 2017 г. в Пушкине наиболее скороспелыми (40–42 дня) оказались 7 образцов: к-15013, к-15052, к-15181, к-16095, к-18025, к-18172, к-30085; в Дагестане скороспелость (38–44 дня) была характерна для образцов к-11439, к-11475, к-11458, к-15013, к-15177.

На ДОС ВИР выделены образцы к-11439, к-11475 и к-15013 с низкой нормой реакции по двум годам изучения. Образец к-15013 оказался самым скороспелым в обоих пунктах изучения в течение двух лет. У этого образца идентифицировано сочетание аллелей *Ppd-H1ppd-H2* (Abdullaev et al., 2017), которое обеспечивает раннее колошение в условиях длинного дня.

Исследованные образцы ячменя были более скороспелыми в ППЛ ВИР по сравнению с ДОС ВИР: среднее значение ППВК в течение двух лет по всем восьми выборкам в ППЛ ВИР варьировало от 7,5 ± 0,2 до 10,2 ± 0,4, тогда как на ДОС ВИР – от 11,6 ± 0,3 до 14,5 ± 0,7 (табл. 2). Значимость различий подтверждается по критерию Стьюдента t (табл. 3).

Попарное сравнение четырех выборок большего и меньшего объема в одном пункте изучения в один и тот же год выявило несущественность различий во всех случаях, то есть эти выборки представляют весь спектр варьирования изучаемого признака (см. табл. 2, 3). Достоверность различий по скороспелости между выборками ППЛ ВИР 2016 г. и 2017 г. разной представленности, а также между выборками, изученными на ДОС ВИР, свидетельствует о влиянии условий среды на скорость развития ячменя. Во время колошения в 2016 г. гидротермический фактор имел большее значение в обоих пунктах изучения, чем в 2017 г. (см. табл. 1). Вследствие влияния среды в 2016 г. и на ДОС ВИР, и в ППЛ ВИР скорость развития местных форм ячменя была достоверно ниже, чем в 2017 г. Сравнение четырех выборок показывает, что в Санкт-Петербурге (длинный день) скороспелость дагестанских ячменей была достоверно выше, чем в Дербенте (короткий день) (см. табл. 2, 3).

Таблица 2. Критерий «превышение периода “всходы – колошение” над его минимальным значением» (ППВК)
Table 2. The criterion of “the rate by which the germination-to-heading period of an accession exceeded its minimum value across the sample” (EGHP)

Статистические показатели	ППВК							
	2016 г.				2017 г.			
	ППЛ ВИР		ДОС ВИР		ППЛ ВИР		ДОС ВИР	
Изучено образцов	100	111	100	111	100	149	100	149
Пределы варьирования признака	0–26	0–27	0–34	0–34	0–16	0–16	0–17	0–16
Среднее, $X \pm S_x$	10,1 ± 0,4	10,2 ± 0,4	14,5 ± 0,7	14,2 ± 0,7	7,7 ± 0,3	7,5 ± 0,2	11,6 ± 0,3	12,0 ± 0,2
Стандартное отклонение, S	3,5	3,8	7,2	7,2	2,9	2,7	2,8	2,7

Таблица 3. Достоверность различий по критерию ППВК* восьми выборок ячменя

Table 3. Significance of differences according to the EGHP* criterion in eight barley accessions

Сравниваемые выборки образцов ячменя	ППЛ ВИР 2017 г. (100)	ДОС ВИР 2016 г. (100)	ДОС ВИР 2017 г. (100)	ППЛ ВИР 2016 г. (111)	ППЛ ВИР 2017 г. (149)	ДОС ВИР 2016 г (111)	ДОС ВИР 2017 г (149)
ППЛ ВИР 2016 г. (100)	**4,8**	**5,5**	**3**	0,2	**5,8**	**5,1**	**4,3**
ППЛ ВИР 2017 г. (100)	*	**8,9**	**9,2**	**5**	0,6	**8,5**	**11,9**
ДОС ВИР 2016 г. (100)		*	**3,8**	**5,3**	**9,6**	0,3	**3,4**
ДОС ВИР 2017 г. (100)			*	**2,8**	**11,4**	**3,4**	1,1
ППЛ ВИР 2016 г. (111)				*	**6**	**4,9**	**4**
ППЛ ВИР 2017 г. (149)					*	**9,2**	**15,9**
ДОС ВИР 2016 г. (111)						*	**3**
ДОС ВИР 2017 г. (149)							*

Примечание. Выделенные значения указывают на достоверность различий
* Критерий «превышение периода "всходы – колошение" над его минимальным значением»
Note: Boldfaced values indicate significance of differences
* The criterion of "the rate by which the germination-to-heading period of an accession exceeded its minimum value across the sample"

Распределение изученных в течение двух лет 100 образцов ячменя по критерию ППВК в зависимости от года и места репродукции представлено на рисунке 1. Влияние условий среды на скороспелость дагестанских ячменей достаточно отчетливо, причем анализируемая выборка характеризуется более высокой скороспелостью в условиях ППЛ ВИР по сравнению с ДОС ВИР. В условиях длинного дня при отсутствии высоких температур была выявлена истинная скороспелость изученного материала. Короткий день, более высокие температуры и хорошая влагообеспеченность в период вегетации 2016 г. на ДОС ВИР способствовали особенно четкому разделению образцов ячменя на раннеспелые и позднеспелые группы (см. табл. 2, рис. 1). В 2017 г. подтвердилась тенденция варьирования изучаемого признака, однако под влиянием условий среды нивелировалась отчетливая выраженность скороспелых и позднеспелых групп.

Рис. 1. Распределение по критерию ППВК* 100 образцов ячменя
* Критерий «превышение периода "всходы – колошение" над его минимальным значением»

Fig. 1. Distribution of 100 barley accessions according to the EGHP* criterion
* The criterion of "the rate by which the germination-to-heading period of an accession exceeded its minimum value across the sample"

Нашли разность между ППВК для каждого образца, изученного в ППЛ ВИР и на ДОС ВИР. Полученный ряд, который отображает реакцию образцов на климатические факторы, распределили в 5 групп (рис. 2): 1 – самые скороспелые в ППЛ ВИР (ППВК образцов в ППЛ ВИР меньше на 8–21 день по сравнению с ДОС ВИР); 2 – скороспелые в ППЛ ВИР (ППВК в ППЛ ВИР меньше на 3–7 дней); 3 – не реагируют на условия среды (0 ± 2 дня); 4 – скороспелые на ДОС ВИР (ППВК на ДОС ВИР больше на 3–7 дней); 5 – самые скороспелые на ДОС ВИР (ППВК на ДОС ВИР больше на 8–10 дней), то есть к каждой группе отнесли образцы с реакцией на условия среды, выражающейся в варьировании числа дней относительно «нулевой» (0 ± 2 дня) точки (Zveinek et al., 2016).

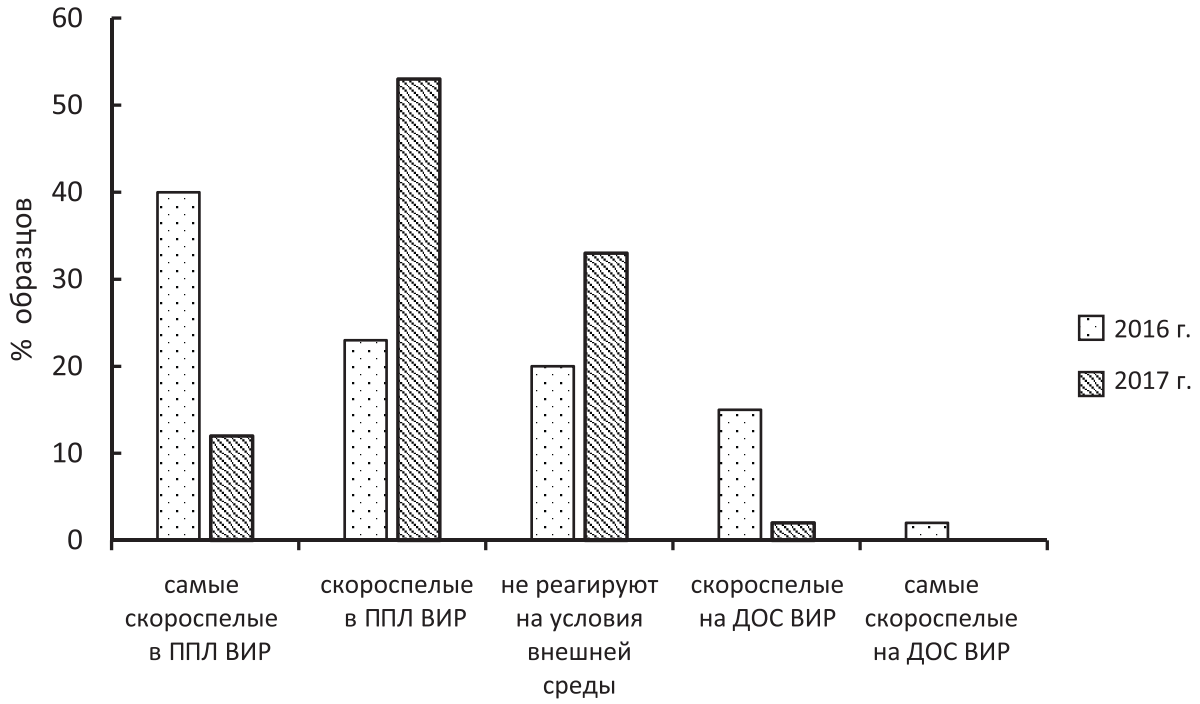


Рис. 2. Норма реакции продолжительности периода «всходы – колошение» образцов ячменя на изменение условий среды

Fig. 2. The norm of reaction for the duration of the germination-to-heading period in barley accessions to a change in environmental conditions

Большинство образцов в 2016 и 2017 г. отнесено к группам 1 и 2. Под влиянием длинного дня и влаги эти образцы оказались более скороспелыми в Санкт-Петербурге по сравнению с Дербентом. При коротком фотопериоде в 2016 г. на ДОС ВИР около 20% форм выколосились на 3–10 дней раньше, чем в ППЛ ВИР. В 2017 г. отсутствовала группа «самые скороспелые на ДОС ВИР», однако в ППЛ ВИР группа «самые скороспелые» существенно увеличилась. При коротком фотопериоде на ДОС ВИР чуть более одного процента форм выколосились на 3–7 дней раньше, чем в Пушкине. Эксперименты показали, что дагестанские ячмени сильно подвержены влиянию условий произрастания, то есть имеют высокую норму реакции. Выделена группа образцов (примерно 20%) с низкой нормой реакции, не реагирующих на условия среды. Большинство входящих в 3, 4 и 5 группы образцов характеризуются слабой чувствительностью к фотопериоду в условиях короткого дня, которая контролируется геном *Ppd-H2* (Abdullaev et al., 2017).

Заключение

Определен размах варьирования скороспелости ячменя из Дагестана, и выявлены формы, для которых характерна высокая скорость развития до колошения. На юге Дагестана скороспелостью обладают образцы к-11439, к-11475 и к-15013; в Северо-Западном регионе России высокой скоростью развития характеризуется образец к-15013. Ранее нами было установлено, что дагестанские ячмени при подзимнем сроке сева в Дагестане были более скороспелыми по сравнению с северо-западом РФ (яровой посев) в течение трех лет изучения. Короткий день, яровизация и высокие температуры в период вегетации в Дербенте способствовали повышению скороспелости образцов ячменя (Zveinek et al., 2016). При яровом посеве в обоих пунктах изучения дагестанские ячмени оказались более скороспелыми на северо-западе, чем в Дагестане. Вероятно, это связано с тем, что основной пул яровых дагестанских ячменей сильно реагирует на яровизацию. Очевидно, яровизирующие температуры являются главным фактором скороспелости дагестанских местных ячменей в условиях ареала их обитания. Длинный день и умеренная температура воздуха в Санкт-Петербурге способствовали обнаружению истинной скороспелости изученного материала. Показано, что образцы ячменя из Дагестана имеют высокую норму реакции.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР № 0662-2019-0006 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

References/Литература

Abdullaev R.A., Alpatieva N.V., Zveinek I.A., Koshkin V.A., Anisimova I.N., Radchenko E.E. Identification of barley accessions from Dagestan carrying the *eam8* gene. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015;54:75-79. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Алпатьева Н.В., Звейнек И.А., Кошкин В.А., Анисимова И.Н., Радченко Е.Е. Идентификация носителей гена *eam8* среди дагестанских ячменей. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;54:75-79).

Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Alpatieva N.A., Konovalova G.S., Kovaleva O.N., Novikova L.Yu. et al. Genetic diversity of Dagestanian barley landraces. *Russian Agricultural Sciences*. 2014;40(6):399-403. DOI: 10.3103/S1068367414060020

Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E., Zveinek I.A., Alpatieva N.V., Kovaleva O.N. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 846. Barley. Agrobiological description of barley accessions from Dagestan. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А, Радченко Е.Е., Звейнек И.А., Алпатьева Н.В., Ковалева О.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 846. Ячмень. Агробиологическая характеристика образцов ячменя из Дагестана. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).

Batasheva B.A., Radchenko E.E., Abdullaev R.A. Early ripeness of barley in Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona = Problems of Regional Agroindustrial Complex Development*. 2014;4(20):8-10. [in Russian] (Баташева Б.А., Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А. Скороспелость местных ячменей Дагестана. *Проблемы развития АПК региона*. 2014;4(20):8-10).

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

Franckowiak J.D., Lundqvist U. Descriptions of Barley Genetic Stocks for 2012. *Barley Genetics Newsletter*. 2012;42:36-793.

Laurie D.A., Pratchett N., Bezant J.H., Snape J.W. Genetic analysis of a photoperiod response gene on the short arm of chromosome 2(2H) of *Hordeum vulgare* (barley). *Heredity*. 1994;72(6):619-627. DOI: 10.1038/hdy.1994.85

Laurie D.A., Pratchett N., Bezant J.H., Snape J.W. RFLP mapping of five major genes and eight quantitative trait loci controlling flowering time in a winter × spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cross. *Genome*. 1995;38(3):575-585. DOI: 10.1139/g95-074

Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oat (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

Lukyanova M.V., Trofimovskaya A.Y., Gudkova G.N., Terentieva I.A., Jarosh N.P. Cultivated Flora of the USSR. Vol. 2, Pt 2. Barley (Yachmen). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Лукьянова М.В., Трофимовская А.Я., Гудкова Г.Н., Терентьева И.А., Ярош Н.П. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 2. Ячмень. Ленинград: Агропроиздат; 1990).

Takahashi R., Yasuda S. Genetic studies of spring and winter habit of growth in barley. *Berichte des Ohara Instituts für Landwirtschaftliche Biologie, Okayama Universität.* 1956;10:245-308.

Takahashi R., Yasuda S. Genetics of earliness and growth habit in barley. In: R.A. Nilan (ed.). *Barley Genetics II: Proc. 2nd International Barley Genetics Symposium*. Pullman, WA: Washington State University; 1971. p.388-408.

Zveinek I.A., Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E. Paratypic variability of the period between shooting and earing stages of Dagestanian barleys. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(2):73-81 [in Russian] (Звейнек И.А., Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Радченко Е.Е. Паратипическая изменчивость периода всходы–колошение ячменей Дагестана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):73-81).

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

Звейнек И.А., Абдуллаев Р.А., Баташева Б.А., Радченко Е.Е. Изменчивость периода «всходы – колошение» яровых образцов ячменя из Дагестана. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):24-29. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-24-29

Zveinek I.A., Abdullaev R.A., Batasheva B.A., Radchenko E.E. Variability of the period between germination and heading in spring barley accessions from Dagestan. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):24-29. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-24-29

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/10.30901/2227-8834-2020-1-24-29

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
Zveinek I.A. https://orcid.org/0000-0003-1236-6408
Abdullaev R.A. https://orcid.org/0000-0003-1021-7951
Batasheva B.A. https://orcid.org/0000-0002-2266-281X
Radchenko E.E. https://orcid.org/0000-0002-3019-0306

Diversity of avenanthramide content in wild and cultivated oats

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-30-47
УДК 633.16:631.52.
Поступление/Received: 05.02.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

S. LEONOVA[1], A. GNUTIKOV[2], I. LOSKUTOV[2]*, E. BLINOVA[2], K.-E. GUSTAFSSON[3], O. OLSSON[1, 4]

[1] Lund University, Box 124, S-22100 Lund, Sweden

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

[3] Swedish University of Agricultural Sciences, Sundsvägen 10, 23053 Alnarp, Sweden

[4] CropTailor AB, Lund University, Box 124, S-22100 Lund, Sweden

Background. Oat grains accumulate substantial amounts of various phenolic compounds that possess biological activity and have a potential to considerably increase health benefits of oats as a food. Avenanthramides (AVA) is an important group of these compounds due to their antioxidant, anti-itching, anti-inflammatory, antiproliferative activities. **Materials and methods**. Using combined HPLC and LC-MS analyses, we provide the first comprehensive review of the total avenanthramide content and composition in cultivated and wild oats. The AVA content was measured in 32 wild and 120 cultivated oat accessions obtained from the global collection of the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia. **Results and conclusion**. The wild hexaploid *A. sterilis* L. had the highest total AVA content, reaching 1825 mg kg^{-1}. Among cultivated accessions, naked oat cv. 'Numbat' (Australia) had the highest AVA content, 586 mg kg^{-1}. The AVA composition exhibited a wide diversity among the analyzed samples. Accessions were identified where AVAs A, B and C, which are generally considered as major AVA, had a low percentage, and instead other AVAs prevailed. The AVA content in eight oat cultivars revealed significant annual changes in both the total AVA content and the proportions of individual AVAs. Using HPLC analyses, 22 distinguishable peaks in AVA extracts of oat seeds were detected and quantified. Several of these peaks, which have not been previously documented, presumably represent different AVAs. Further analyses are needed to detail these findings and to determine the specific AVA structures in oat grains.

Key words: oat, cultivated and wild *Avena* spp., avenanthramides, genetic resources.

Разнообразие содержания авенантрамидов у культурного и дикого овса

С. ЛЕОНОВА[1], А. ГНУТИКОВ[2], И. ЛОСКУТОВ[2]*, Е. БЛИНОВА[2], К.-Е. ГУСТАФССОН[3], О. ОЛССОН[1, 4]

[1] Лундский университет, п/я 124, S-22100 Лунд, Швеция

[2] 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*

[3] Шведский сельскохозяйственный университет, Сундсвеген 10, 23053 Альнарп, Швеция;

[4] CropTailor AB, Лундский университет, п/я 124, S-22100 Лунд, Швеция;

Актуальность. Овес накапливает значительные количества различных фенольных соединений, которые обладают биологической активностью и способны значительно повышать питательную значимость продуктов из овса. Авенантрамиды (AVA) являются важной группой этих соединений благодаря их антиоксидантной, противовоспалительной и других видов активности. **Материал и методика**. Используя комбинированный анализ HPLC и LC-MS, впервые были получены комплексные данные по общему содержанию и составу авенантрамидов у образцов культурных и диких видов овса. Было определено содержание AVA у 32 образцов дикого и 120 образцов культурного овса, полученных из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР, Санкт-Петербург, Россия). **Результаты и выводы**. Образец дикого гексаплоидного вида *A. sterilis* L. имел самое высокое общее содержание AVA в зерновке (1825 мг/кг), а среди образцов культурного овса самое высокое содержание AVA (586 мг/кг) имел голозерный сорт 'Numbat' (Австралия). Данные по компонентному составу AVA показали большое разнообразие среди анализируемых образцов. Были идентифицировали образцы, у которых основные компоненты A, B и C данного вещества имели низкое содержание, а вместо них преобладали другие, менее значимые компоненты. Содержание AVA у восьми сортов овса показало значительные изменения по годам как общего содержания AVA, так и соотношения отдельных его компонентов. Используя анализ HPLC, установили и количественно определили 22 различных пика компонентов AVA в экстрактах зерновок овса. Некоторые из этих пиков, которые ранее не были документированы, предположительно представляют разные компоненты AVA. В дальнейшем необходимо детализировать полученные результаты и определить конкретные компоненты AVA в зерне овса.

Ключевые слова: овес, культурные и дикие виды *Avena*, авенантрамиды, генетические ресурсы.

Introduction

Oat grains accumulate substantial amounts of various phenolic compounds that possess biological activity and have a potential to considerably increase health benefits of oats as a food. Avenanthramides (AVA) is an important group of these compounds due to their antioxidant, anti-itching, anti-inflammatory, antiproliferative activities (Hitayezu et al., 2015; Koenig et al., 2014; Meydani 2009; Ren et al. 2011; Yang et al., 2014), and preventing effects in cancer and heart diseases (Guo et al., 2010). In a recent study, AVA A and its metabolites have exhibited bioactivity against human colon cancer cells (Wang et al., 2014). In addition, due to their antioxidative activity, AVA can help to prevent the rancidity of food products and thus improve their storage properties (Peterson, 2001).

AVAs are phytoalexins, i.e. compounds produced in response to pathogenic attack. However, they are constitutively expressed in both oat seeds and leaves (Peterson, Dimberg 2008). Chemically, AVA are derivatives of anthranilic (2-aminobenzoic) acid, connected either with hydroxycinnamic (type I AVA) or with avenalumic (5-(4-hydroxyphenyl)-2,4-pentadienoic) acid (type II AVA). Anthranilic, hydroxycinnamic and avenalumic acids can have substitutions with hydroxyl and/or methoxyl functions, and thus over 30 different compounds with molecular mass from 283 to 387 are built up (Collins 1989; Wise 2014).

Most of the reports on the AVA structure and composition have confined to cultivated oat and describe the presence and antioxidant activity of only few AVAs; in most cases these are major three A, B and C (Boz, 2015; Collins, 2011). Several publications showed levels of AVA A, B and C produced in different fractions and products of oat seeds. In the study of Hitayezu et al. (2015), fine bran had the highest AVA content, while the whole groat oat flour had the lowest. This is in contrast with the data of Mattila et al. (2005), where oat flakes had double AVA content than that in oat bran. Oat hulls had comparable amounts of three major AVAs in the studies of Bryngelsson et al. (2002) and Ortiz-Robledo et al. (2013). Several researchers have documented the influence of environmental conditions, i.e. year and location, on AVA accumulation (Dimberg et al. 2005; Emmons, Peterson 2001; Peterson 2005; Wise et al., 2008). The amount of AVA in oat grains increases significantly during imbibition (Matsukawa et al., 2000), plant development (Peterson, Dimberg, 2008), stimulation by elicitors (Mayama, 1995a; Ishihara et al., 1996; Matsukawa et al., 2000; Ren, Wise, 2012; Wise, 2011), steeping (Bryngelsson et al., 2003), storing (Dimberg et al., 1996), and fungal infection (Mayama et al., 1995a, b; Miyagawa et al., 1995).

Regarding AVA antioxidant activity, Hitayezu et al. (2015) found correlation between AVA and radical scavenging data, while there was no such correlation for five free phenolic acids. Studies on antioxidant activity showed differences between AVA A, B and C extracted from seeds of cultivated oat (Bratt et al., 2003; Hitayezu et al., 2015; Ren et al., 2011; Yang et al., 2014). This indicates that other AVAs may also possess properties different from those reported for AVA A, B and C, and further studies are needed to discover their potential as bioactive compounds.

To the best of our knowledge, there is only one publication on AVA content and composition in wild oat, where up to 13 wild and 80 cultivated oat accessions were analyzed (Redaelli et al., 2016). In that study again only the major three AVAs, i.e. A, B and C, were taken into consideration. Wild oats present a crucial source of variation for breeding programs, which dictates the need to further investigate the variability pattern in AVA content and composition across the genus *Avena* L. Wild oat species may have a unique composition of AVA that potentially can be used in various applications.

The aim of this study was to analyze the AVA content and composition in 32 wild and 128 cultivated (including commercial cultivars and landraces) oat accessions from the collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR). We employed HPLC and LC-MS analyses and focused specifically on identification and quantitative analyses of several minor AVA in wild and cultivated oats.

Materials and methods

Plant material

Thirty two accessions of wild species of different ploidy level and one hundred and twenty accessions of cultivated hexaploid species of different geographical origin (Table 1) were selected from the VIR collection for comprehensive field trials which were conducted at VIR's field station in 2010–2014. Taxonomical definition was done according to Rodionova et al. (1994), Loskutov (2007), and Loskutov and Rines (2011). All accessions were sown manually on 1.0 m^2 plots in six 1 m rows with the 15 cm spacing between the rows and 30 cm between the plots. Harvesting was done manually and followed by the manual threshing of panicles using VIR's standard guidelines (Loskutov et al., 2012).

Extraction and analyses of avenanthramides on HPLC and LC-MS

Grains of oat were dehulled manually and milled (Pulverisette). Avenanthramides were extracted with 80% ethanol according to the method described elsewhere (REF). Two to three replications were made for each accession.

HPLC

HPLC model Agilent 1100 with a diode array detector was used to analyze the extracted AVA with detection at 340 nm. We used a C18 column, Kromasil 100-3.5C18, dimensions 4.6 × 150 mm. We used H_2O with 0.1% formic acid as buffer A and acetonitrile as buffer B. Flow rate was 0.8 ml/min with a gradient as follows: during first 24 min 20–45% buffer B; from 24th to 25th min, 80% buffer B; stayed so till 30 min; till 30min 10 sec, 20%; stayed there till 40 min. AVA reference standards A, B, C, AA, BB, CC, D, G and L, kindly provided by Prof. A. Ishimata (Kyoto University, Japan), were used for building calibration curves to quantify corresponding peaks. All other peaks were quantified using calibration curve of AVA A.

Total avenanthramide level was calculated from the HPLC chromatogram by summing up the peaks that appear in the region between AVA CC and L. Quantification was based on basis of the fresh weight of the samples.

LC-MS

Several representative samples (with the highest amount of avenanthramides other than those for which standards were available) were analyzed by LC-MS. An Agilent Technologies 1260 Infinity HPLC system (CA, USA) equipped with a diode array detector (DAD, G4212) was used under the conditions described above. A mass spectrometer (Agilent Technologies 6120 Quadrupole, Germany) equipped with an API-ES was connected with the HPLC-DAD system. The ionization source parameters were as follows: API-ES negative ion mode; nebulizer pressure 25 psig; dry gas temperature 300°C;

Table 1. **List of analyzed oat species accesions**

Таблица 1. **Список проанализированных образцов видов овса**

	Species	Ploidy 2n	Genome	Number of accessions	Geographical origin
1	*A. sativa* L.	3	ACD	110	Russian Federation, Ukraine, Belarus, Norway, UK, Sweden, Finland, France, Netherland, Germany, Austria, Czech Republic, Slovakia, Kyrgyzstan, Mongolia, China, Japan, Canada, Australia
2	*A. byzantina* C. Koch	3	ACD	10	Russian Federation, China, Portugal
3	*A. atlantica* Baum	1	As	2	Morocco
4	*A. canariensis* Baum et Fedak.	1	Ac	2	Spain, Canary Islands
5	*A. clauda* Durieu	1	Cp	2	Turkey, Iran
6	*A. damascena* Rajh. et Baum	1	Ad	2	Syria
7	*A. hirtula* Lagas.	1	As	1	Tunisia
8	*A. longiglumis* Durieu	1	Al	1	from the U.S. genebank
9	*A. wiestii* Steud.	1	As	2	Israel, Iran
10	*A. agadiriana* Baum et Fedak	2	AB?	2	Morocco
11	*A. barbata* Pott	2	AB	2	Azerbaijan, Lebanon
12	*A. insularis* Ladiz.	2	CD?	2	Italy, Sicily
13	*A. magna* Murphy et Terr.	2	AC	2	Morocco
14	*A. murphyi* Ladiz.	2	AC	2	Spain
15	*A. vaviloviana* (Malz.) Mordv.	2	AB	2	Ethiopia
16	*A. fatua* L.	3	ACD	2	Ethiopia, China
17	*A. ludoviciana* Durieu	3	ACD	2	Iran, Ethiopia
18	*A. occidentalis* Durieu	3	ACD	2	Spain, Canary islands
19	*A. sterilis* L.	3	ACD	2	Israel, Algeria

dry gas flow 10 L/min; capillary voltage +3.0 kV; VCap 3000V; Quad temp 100°C. The mass signal dimension was 100–1500 *m/z*, fragmentor set to 70 V.

Statistics

Individual AVAs were calculated as percentage of the total AVA. All statistical analyses were done using R programming.

Results

1. Total AVA content

To check the effect of year-long AVA accumulation, eight accessions were grown at one place during two years: 2014 and either 2011 or 2012 or 2013. We checked the difference in the total AVA content in these accessions and discovered that for four accessions 2014 was much more favorable for AVA accumulation; for three accessions 2014 was less favorable than other years; and for cv. 'Premjer' the total AVA content was the same in two years (Table 1). The lack of a clear tendency for each analyzed year led to the absence of statistical difference when the analysis was run for the summarized data of 2014 and the other year (supplementary material, Table 2 3).

Then we looked at the total AVA in accessions belonging to different species and with different ploidy levels. Tables 2 and 3 give the overview of the analyzed accessions. Total AVA in cultivated oat varied from 12.35 (Mongolian landrace, naked) to 586.63 mg kg^{-1} (cv. 'Numbat', naked) (Fig. 1; supplementary material, Table 1). In wild oats, both analyzed accessions of the diploid species *A. atlantica* had the lowest values (4–9 mg kg^{-1}), while tetraploid *A. insularis*, *A. longiglumis* and hexaploid *A. sterilis* (the accession with the origin from Algeria) showed the highest levels of AVA (613, 662 and 1825 mg kg^{-1}, respectively). Comparison of accessions of different ploidy (only for wild species) revealed no significant variation in the total AVA. Therefore, we ran further statistical analyses of different species, ignoring their ploidy. That analysis, i.e. comparison of species, also showed no significant difference, as accessions within one species differed more in their AVA content than accessions belonging to different species.

We compared total AVA between cultivated (hexaploid species *A. sativa* and *A. byzantina*) and hexaploid wild oat accessions; within *A. sativa*, hulled and naked oats were compared. Again, no significant difference was observed in either of those two analyzes (data not shown).

Table 2. Total AVA content (triplicate average) in cultivars replicated in different years (mean ± standard deviation in mg kg^{-1} fresh weight; *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001)

Таблица 2. Общее содержание AVA (среднее значение трех повторностей) у сортов, выращенных в разные годы (среднее ± стандартное отклонение, мг кг$^{-1}$ сырого веса; *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001)

Cultivar, variety	Total AVA, mg kg^{-1}, Year 1	Total AVA, mg kg^{-1}, Year 2 (2014)	P*
Argamak, *mutica* 14648	18.15 ± 3.3 (2011)	84.40 ± 18.4	***
Numbat, *inermis* 14851	551.35 ± 31.5 (2011)	60.08 ± 5.2	***
Persheron, *inermis* 15275	82.26 ± 9.6 (2012)	43.85 ± 5.4	***
Eklips, *aurea* 15187	171.01 ± 34.5 (2013)	64.34 ± 6.4	***
Premjer, *A. byzantina* 15238	60.57 ± 3.1 (2013)	59.46 ± 6.9	ns
Krechet, *mutica* 14857	37.57 ± 6.0 (2012)	127.08 ± 16.4	***
Konkur, *mutica* 15068	70.31 ± 3.0 (2010)	133 03 ± 36.3	**
Bulanyi, *mutica* 15277	22.04 ± 5.5 (2013)	46.14 ± 7.0	**

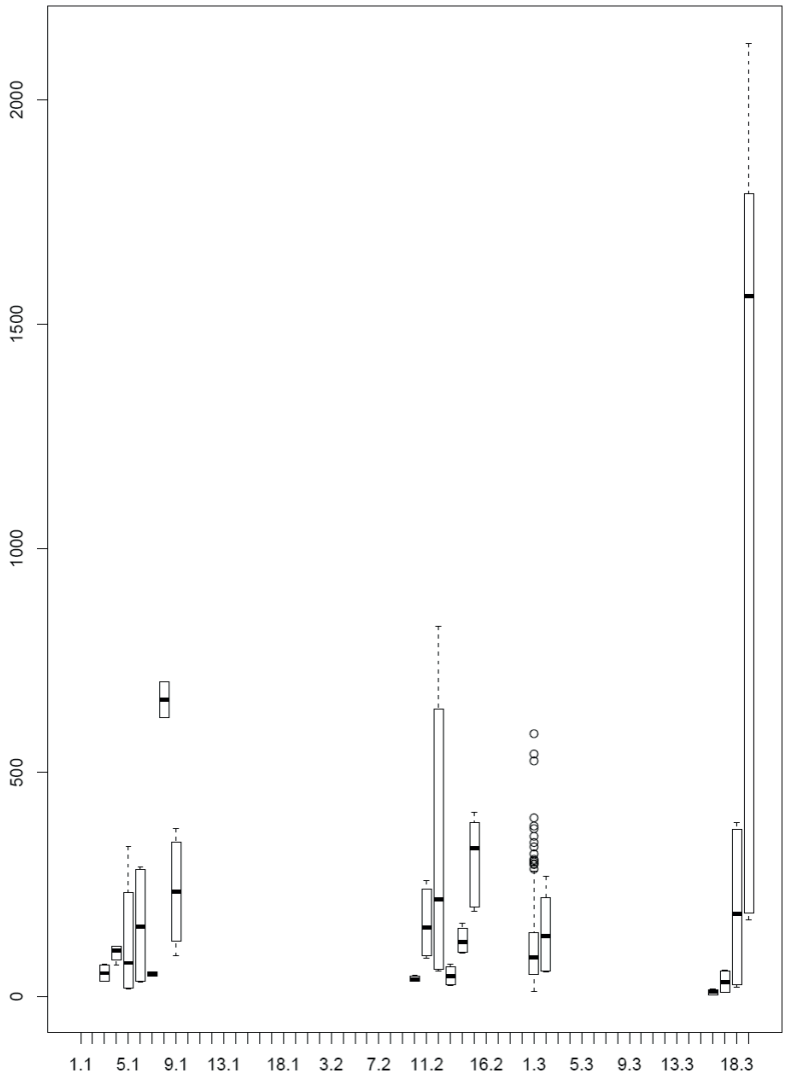


Fig. 1. Total AVA content (mg kg^{-1}) in diploid ('1' after dot), tetraploid ('2' after dot) and hexaploid ('3' after dot) wild and cultivated oat species. The digit(s) before dot designate species according to Table 1 (1 – *A. sativa*, 2 – *A. byzantine*, etc.)

Рис. 1. Общее содержание AVA (мг кг$^{-1}$) у диплоидных («1» после точки), тетраплоидных («2» после точки) и гексаплоидных («3» после точки) диких и культурных видов овса. Цифры перед точкой указывают виды согласно таблице 1 (1 – *A. sativa*, 2 – *A. byzantina* и т. д.)

2. AVA composition

HPLC analyses suggested the presence of over 20 AVAs in oat grains (Fig. 2, A), i.e. peaks appearing between CC and L – 'AVA region' (Fig. 2, B). We identified them by comparing the retention times with those of the available nine standards (Fig. 2, B) and by checking the molecular weight by LC-MS. LC-MS analyses revealed several AVAs that were eluting at the same time and thus appearing as one peak on the HPLC chromatogram. For example, AVA B co-eluted with minor AVA QQ, and thus we could not calculate the exact amount of these two compounds. Thus, we identified about 25 AVAs. Of them, 17 were the AVAs known from before, and 8 compounds were unknown. Major AVAs in most accessions were A, B and C (Fig. 2, A). However, there were accessions that had unusual AVA composition. Several HPLC chromatograms on most interesting examples of unusual AVA composition are presented in Fig. 3. For instance, they had relatively low levels of major AVAs, compensating it by high levels of other compounds, which sometimes appeared on chromatograms in the areas outside the AVA region (Fig. 3, I).

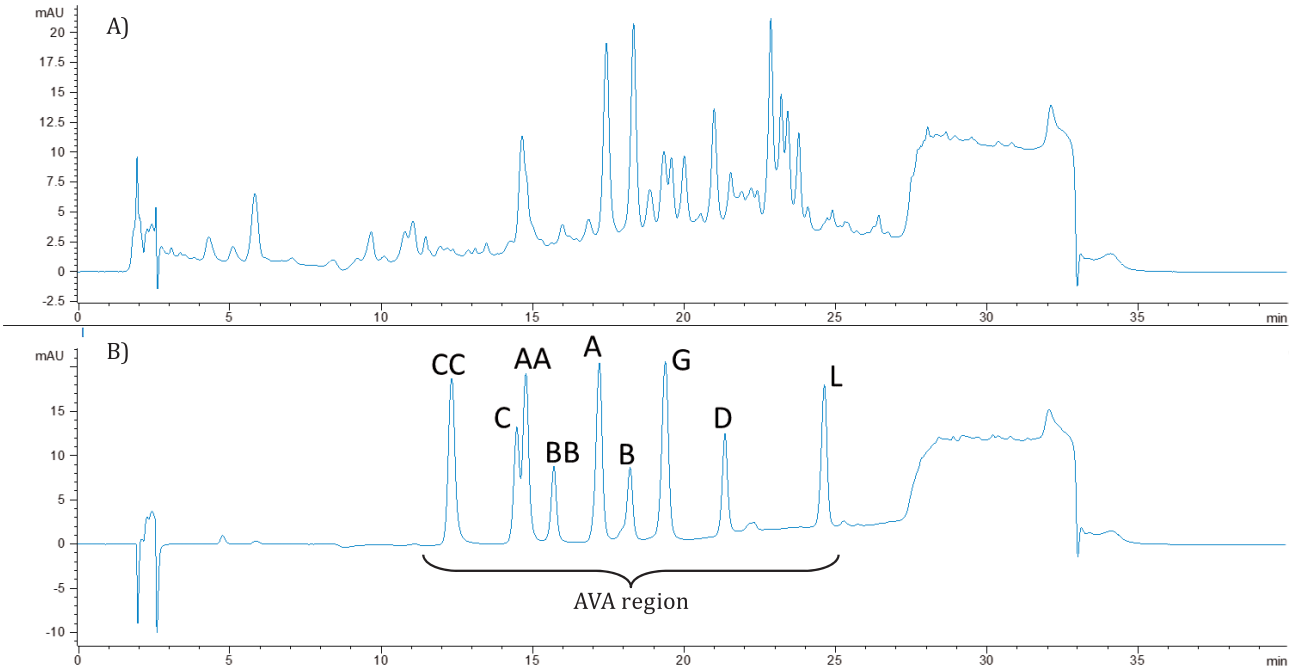


Fig. 2. **HPLC chromatogram of AVA content extracted from the grains of oat cv. Sprint 3 (A) and of nine AVA standards (B)**

Рис. 2. **HPLC-хроматограмма содержания AVA, экстрагированных из зерен овса сорта Спринт 3 (A) и девять стандартов AVA (B)**

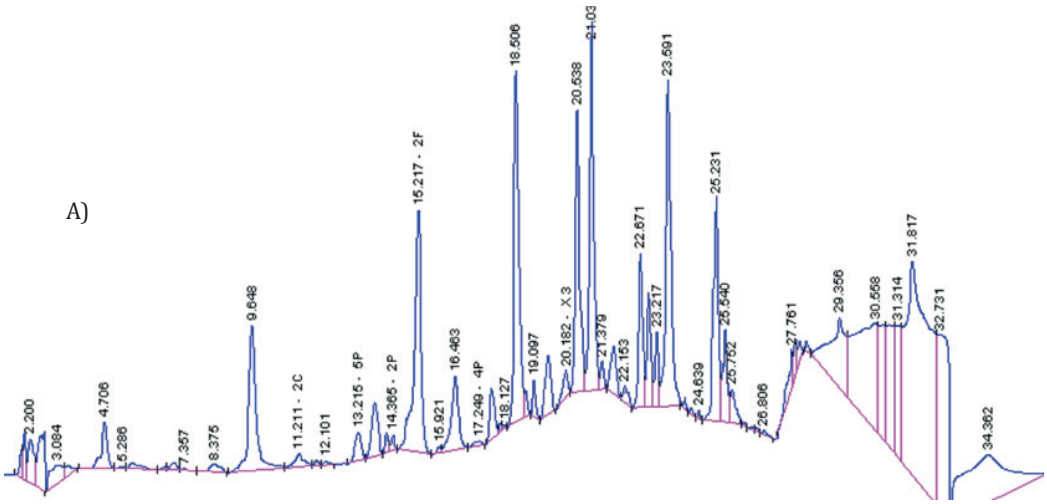


Fig. 3. **HPLC chromatograms of cultivated (A–C) and wild (D–I) accessions of oat species with unusual AVA composition**

Рис. 3. **HPLC-хроматограммы образцов культурных (A–C) и диких (D–I) видов овса с необычным составом AVA**

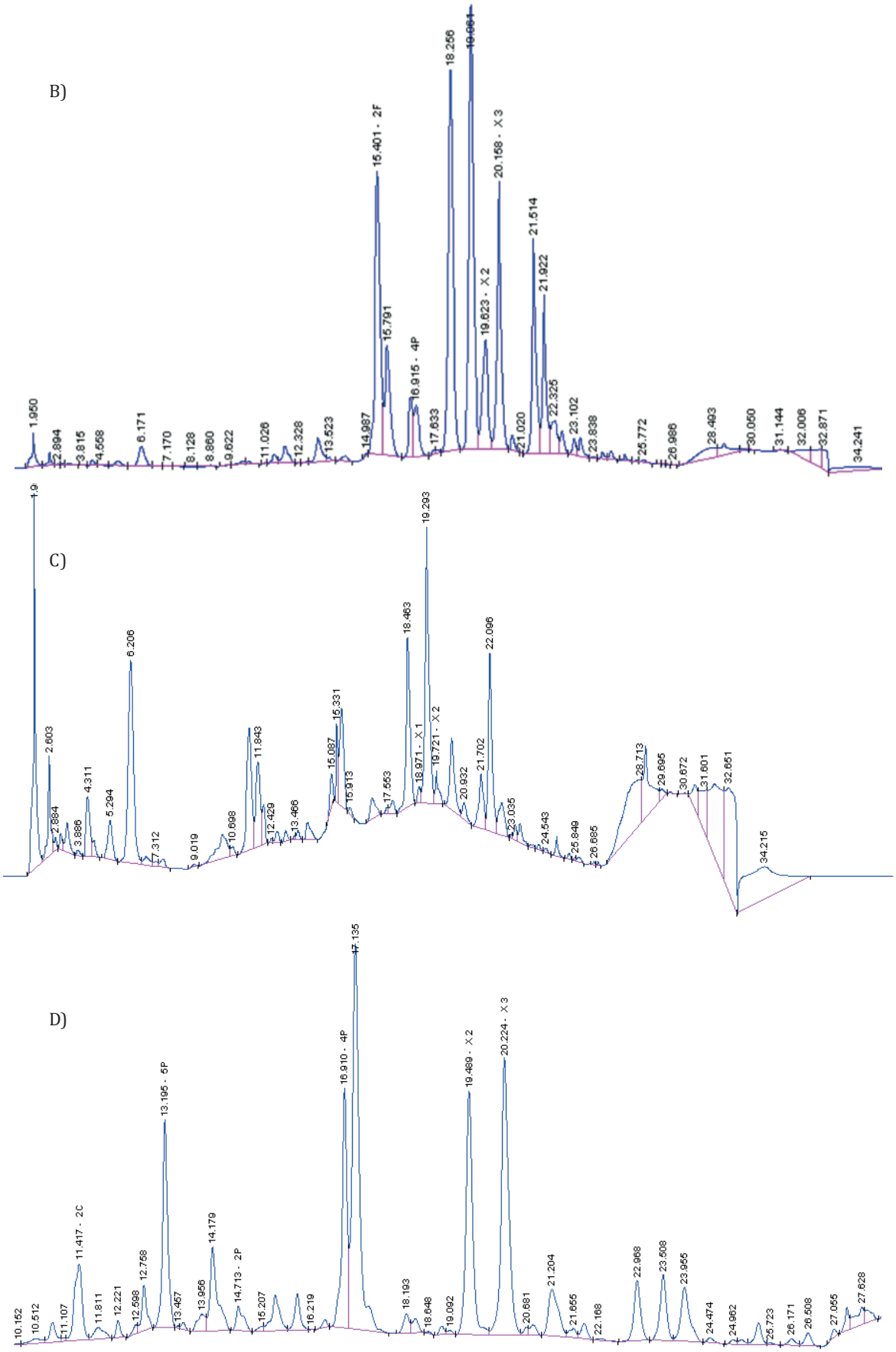


Fig. 3. **HPLC chromatograms of cultivated (A–C) and wild (D–I) accessions of oat species with unusual AVA composition**

Рис. 3. **HPLC-хроматограммы образцов культурных (A–C) и диких (D–I) видов овса с необычным составом AVA**

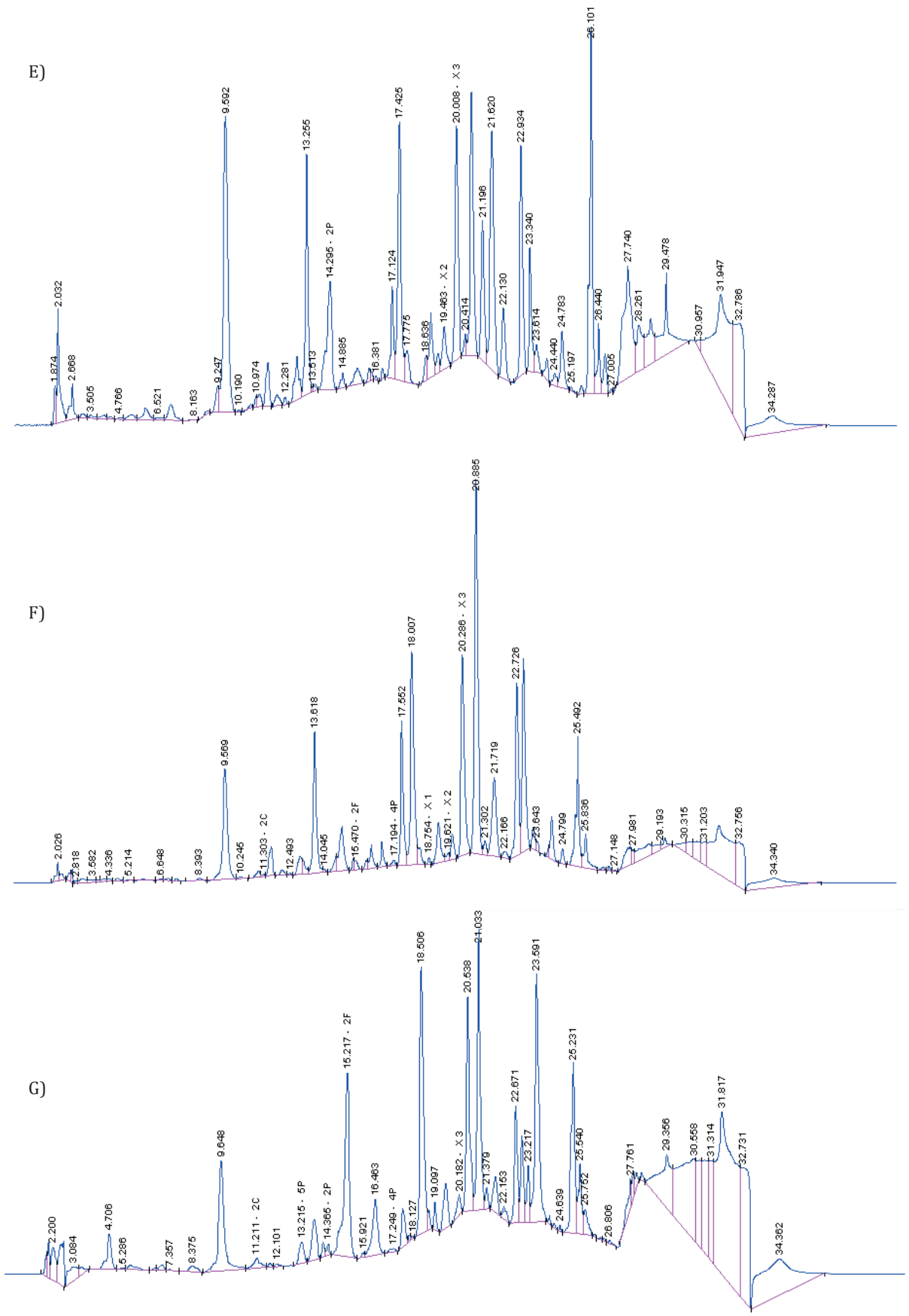
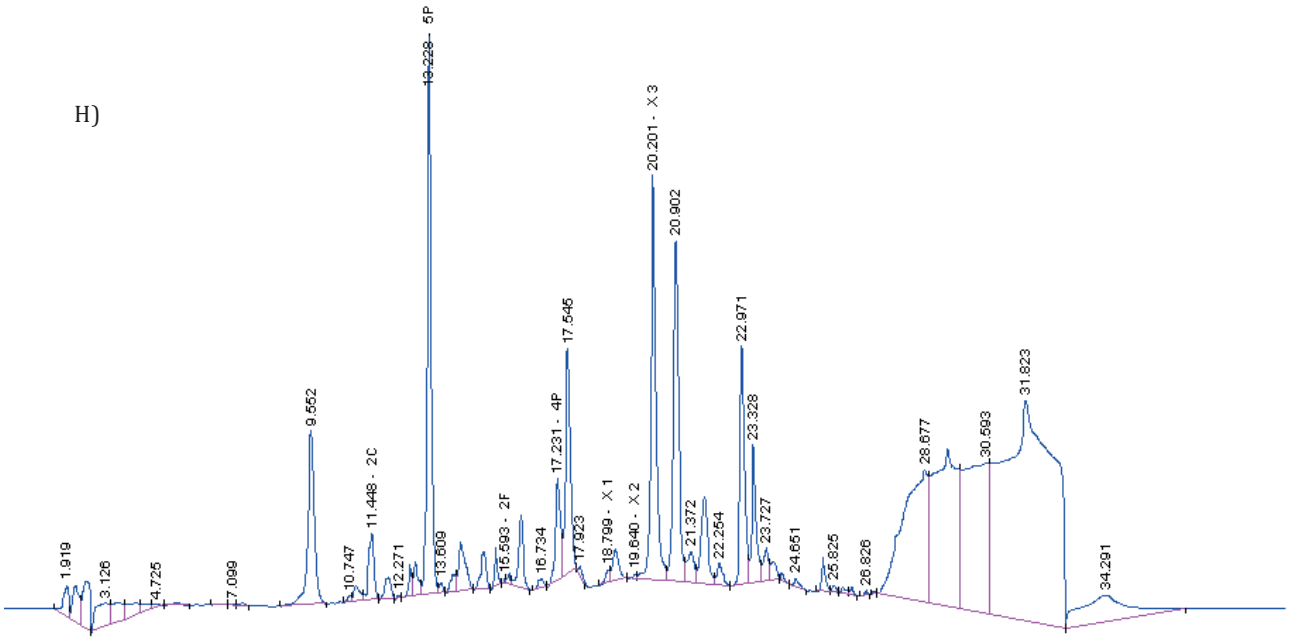


Fig. 3. **HPLC chromatograms of cultivated (A–C) and wild (D–I) accessions of oat species with unusual AVA composition**

Рис. 3. **HPLC-хроматограммы образцов культурных (A–C) и диких (D–I) видов овса с необычным составом AVA**



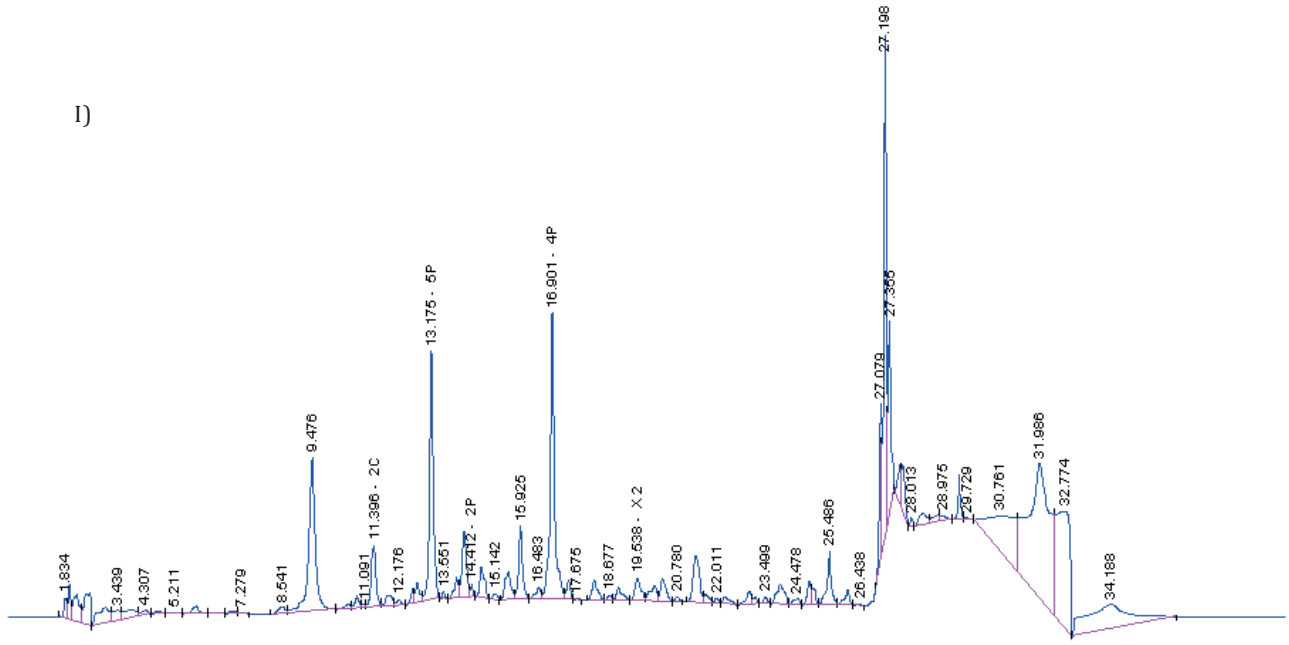


Fig. 3. **HPLC chromatograms of cultivated (A–C) and wild (D–I) accessions of oat species with unusual AVA composition**

Рис. 3. **HPLC-хроматограммы образцов культурных (A–C) и диких (D–I) видов овса с необычным составом AVA**

LC-MS was used to analyze molecular weight (MW) of AVA and unknowns. Fig. 4 illustrates the HPLC chromatogram and MW of unknown 2 and AVA C extracted from wild oat *A. damascena*. Judging by the HPLC chromatogram only, a perception would be that the largest peak is AVA C. However, LC-MS analyses revealed that the largest peak had MW 326 instead of 316, as MW of AVA C, and thus we identified the largest compound as an unknown.

In case of other unknowns, the levels of unknowns 1, 3 and 4 were too low for being detectable by LC-MS. There were accessions with high levels of unknowns 5, 6, 7 and 8; all of them had more or less the same ion composition; MW of the major ion was 316 (Fig. 4, B).

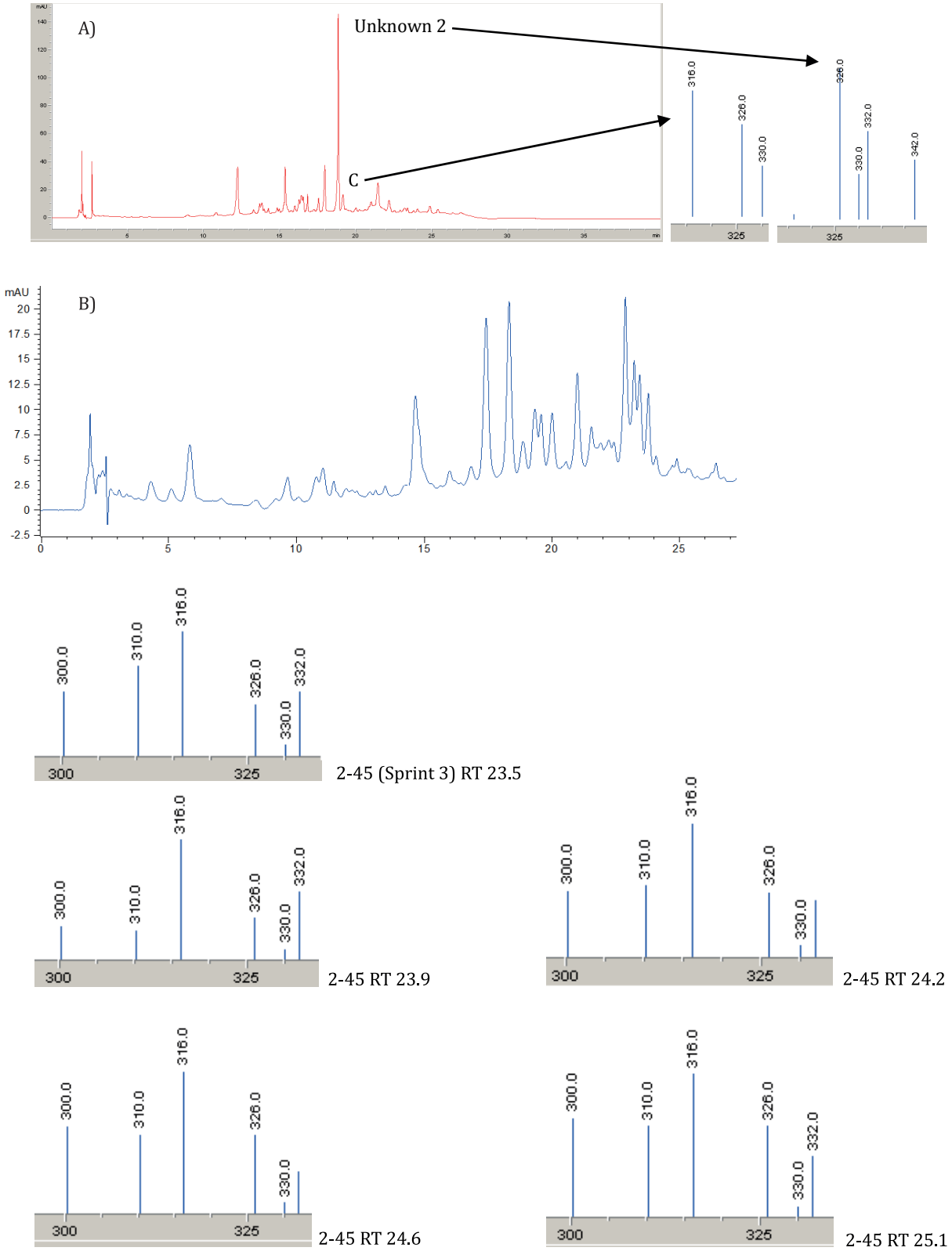


Fig. 4. LC-MS analysis of the AVA content extracted from oat with depicted MW of unknowns 5–8

Рис. 4. LC-MS анализ содержания AVA, выделенных из овса с неизвестными пиками МВ 5–8

Tables 3 and 4 give the lowest and the highest percentage of different AVAs in wild and cultivated oats, respectively. For the majority of the accessions, AVA A, B and C comprised the largest portion of AVAs, but there was one exception. One accession of *A. damascena* had 48.6% of unknown 2 and 9.1% of unknown 1, while levels of AVA A, BQ and C were much lower: together they comprised only 18% (Fig. 4, A; Table 3). In cultivated oat, the highest level of unknown 2 and unknown 1 was 11.9 and 5.8% respectively (Table 4). The other interesting results were higher portion of R/N in wild oat with maximum 18.27% in *A. magna* vs. maximum 7.76% in cultivated oat (cv. Podgornyi), 16.97% of unknown 7 in wild oat (*A. hirtula*) vs. 4.67 in cultivated oat, and large difference in the highest level of B+Q between wild and cultivated oats: maximum 24.71% in wild vs. 39.5% in cultivated oat.

Table 3. Lowest and highest percentage of different AVA in wild oat

Таблица 3. Самые низкие и самые высокие значения (%) различных компонентов AVA у образцов диких видов овса

Compound	Lowest value, % (species)	Highest value, % (species)
AVA_CC	0.41 (*A. canariensis*-1)	6.28 (*A. atlantica*-2)
AVA_UN1	0.05 (*A. occidentalis*-2)	9.1 (*A. damascena*-1)
AVA_UN2	0.02 (*A. insularis*-2)	48.6 (*A. damascena*-1)
AVA_C	4.78 (*A. canariensis*-1)	41.7 (*A. longiglumis*)
AVA_AA	0.31 (*A. wiestii*-1)	11.9 (*A. sterilis*-1)
AVA_BB	0.12 (*A. agaridiana*-2)	4.39 (*A. agaridiana*-1)
AVA_QQ	0.00 (*A. vaviloviana*-1)	5.03 (*A. sterilis*-2)
AVA_UN3	0.05 (*A. ludoviciana*-2)	2.26 (*A. clauda*-2)
AVA_A	3.88 (*A. clauda*-2)	33.02 (*A. canariensis*-1)
AVA_B+Q	3.34 (*A. clauda*-2)	24.71 (*A. insularis*-2)
AVA_X+OO	0.43 (*A. occidentalis*-1)	6.69 (*A. canariensis*-1)
AVA_G+Y	1.26 (*A. barbata*-1)	12.49 (*A. hirtula*)
AVA_H	0.07 (*A. vaviloviana*-2)	5.63 (*A. sterilis*-2)
AVA_O	1.92 (*A. ludoviciana*-1)	16.67 (*A. canariensis*-1)
AVA_P/S	0.31 (*A. longiglumis*)	9.69 (*A. sterilis*-1)
AVA_R/N	0.78 (*A. damascena*-1)	18.27 (*A. magna*-1)
AVA_UN4	0.00 (*A. insularis*-2)	2.80 (*A. sterilis*-2)
AVA_UN5	0.00 (*A. murphyi*-1)	4.09 (*A. clauda*-2)
AVA_UN6	0.00 (*A. insularis*-2)	2.49 (*A. hirtula*)
AVA_UN7	0.06 (*A. occidentalis*-2)	16.97 (*A. hirtula*)
AVA_UN8	0.01 (*A. longiglumis*)	5.70 (*A. fatua*-2)
AVA_L	0.02 (*A. longiglumis*, *A. murphyi*-1, *A. sterilis*-1)	3.11 (*A. damascena*-1)

Table 4. **Lowest and highest percentage of different AVA in cultivated oat**

Таблица 4. **Самые низкие и самые высокие значения (%) различных компонентов AVA у образцов культурного овса**

Compound	Lowest value, % (cultivar)	Highest value, % (cultivar)
AVA_CC	0.01 (Borot, *mutica*)	4,71 (Effectiv)
AVA_UN1	0.06 (Borot, *mutica*)	5,8 (Mongolian landrace, *inermis*)
AVA_UN2	0.04 (Chinese local, *A. byzantina*)	11,9 (Faust, *mutica*)
AVA_C	6.25 (Faust, *mutica*)	29.1 (Guzeripl, *A. byzantina*)
AVA_AA	0.67 (Gere)	13.74 (Soku, *mutica*)
AVA_BB	0.51 (Premjer, *A sativa*, *A. byzantina*)	5.75 (Borot, *mutica*)
AVA_QQ	0.04 (Drug, *mutica*)	6.48 (Gorisont, *mutica*)
AVA_UN3	0.04 (Metis, *aurea*)	2.19 (Dans, *mutica*)
AVA_A	9.84 (Bulanyi, *mutica*)	30.77 (Kirovetc, *aurea*)
AVA_B+Q	8.32 (Argamak, *mutica*)	39.50 (Universal-1, *mutica*)
AVA_X+OO	0.34 (Pisarevskyi, *mutica*)	8.26 (Gorisont, *mutica*)
AVA_G+Y	1.43 (Narymskii 943, *mutica*)	14.99 (Dans, *mutica*)
AVA_H	0.00 (Kirovetc, *aurea*)	11.77 (Argamak, *mutica*)
AVA_O	0.02 (Persheron, *inermis*)	12.79 (Drug, *mutica*)
AVA_P/S	0.24 (Pomor, *inermis*)	14.25 (Bulanyi, *mutica*)
AVA_R/N	0.21 (Sprint 2, *aurea*)	7.76 (Podgornyi, *mutica*, *grisea*)
AVA_UN4	0.00 (local *A. byzantina*; Murom, *inermis*)	5,27 (Argamak, *mutica*)
AVA_UN5	0.00 (several accessions)	9,71 (Sprint 3, *aurea*)
AVA_UN6	0.01 (Canyon)	8,8 (Sprint 3, *aurea*)
AVA_UN7	0.00 (Skakun, *mutica*)	4,67 (Taezhnik, *aurea*)
AVA_UN8	0.01 (Numbat, *inermis*)	5.01 (Hurdal)
AVA_L	0.01 (Numbat, *inermis*; Soku, *mutica*)	4.19 (Tumenskii golozernyi, *inermis*)

3. Cluster analyses

Analyzing the variation of all 22 detected peaks in different species, it was possible to organize them into 5 clusters for wild oat (Fig. 5) and into 10 clusters for cultivars (Fig. 6). The main common tendencies for both wild and cultivated oats were that O was in one cluster with X+OO; L with un1 and un2; un3, un4, in 5, un6 and H (but for wild ones, there was also G+Y in this cluster). The most striking difference between wild and cultivated oat was AVA C and R/N: in wild oat, they were the two the most distant AVA while in cultivated oat they appeared in one cluster. A similar situation was observed for AVA P/S and QQ: sitting next to each other in cultivars, they belonged to the two most remote clusters in wild oats.

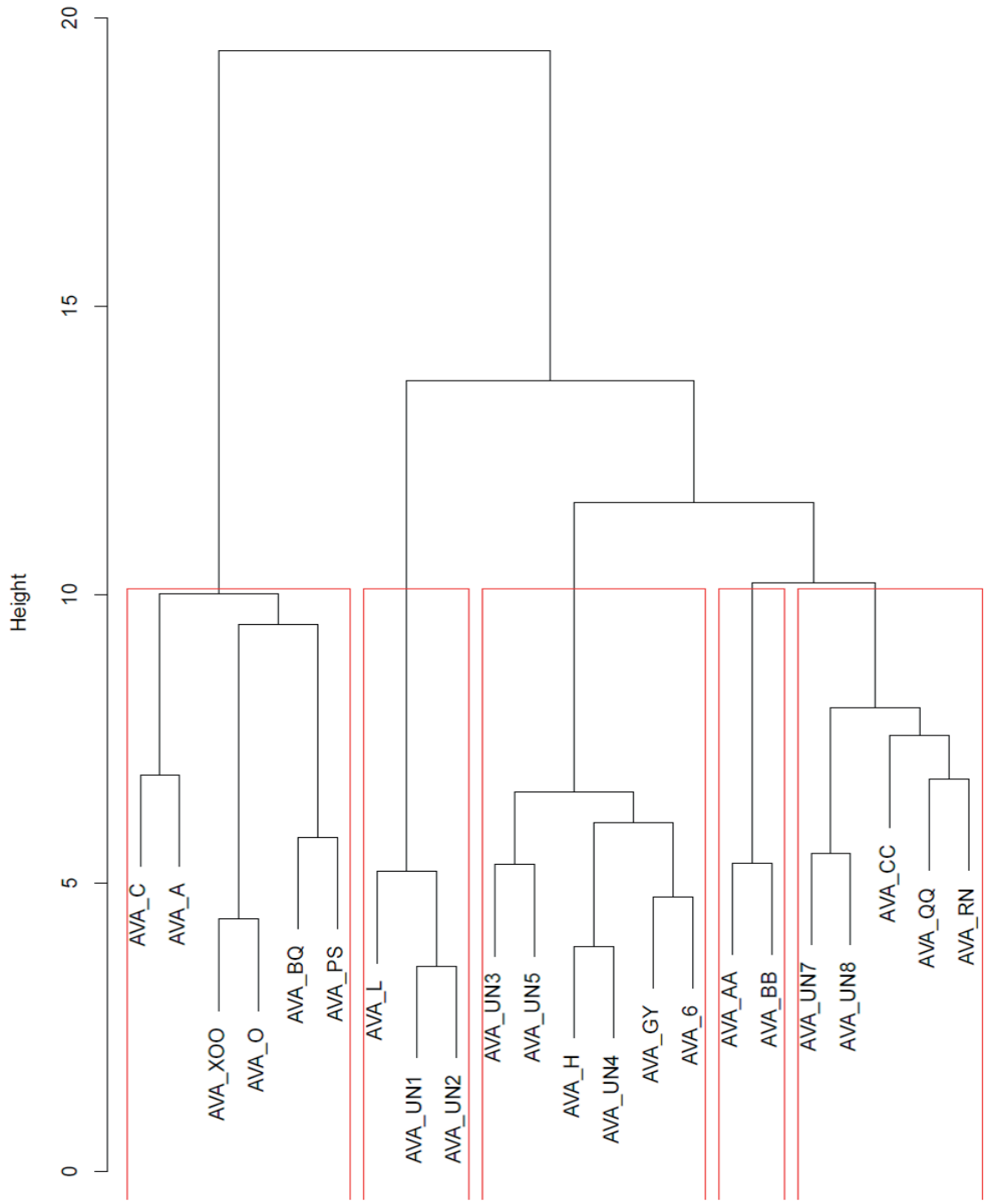


Fig. 5. Cluster analysis in wild oat

Рис. 5. Результаты кластерного анализа данных у образцов диких видов овса

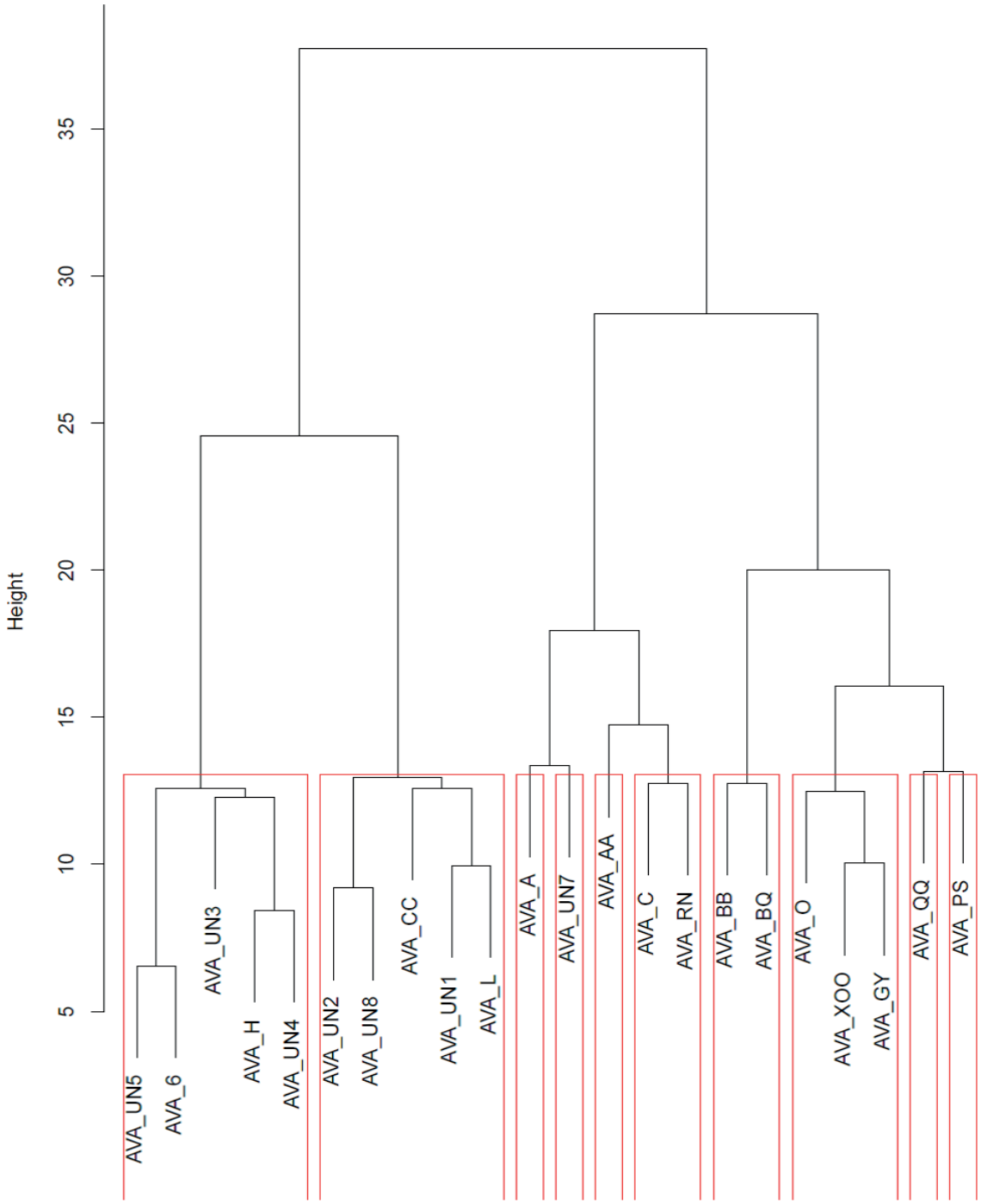


Fig. 6. **Cluster analysis in cultivars**

Рис. 6. **Результаты кластерного анализа данных у образцов культурного овса**

Further statistical analyses were done on clusters instead of individual AVAs, separately for wild and cultivated oat. For wild oat, ploidy and species effects on clusters were analyzed. Ploidy was significant for cluster 2 (AVA L, un1, and un2), with diploid oats having higher levels of these AVAs (Fig. 7); the species identity had a significant effect on cluster 5 (un7, 8, CC, QQ, R/N), with *A. magna* and *A. fatua* as the species with the highest levels (Fig. 8).

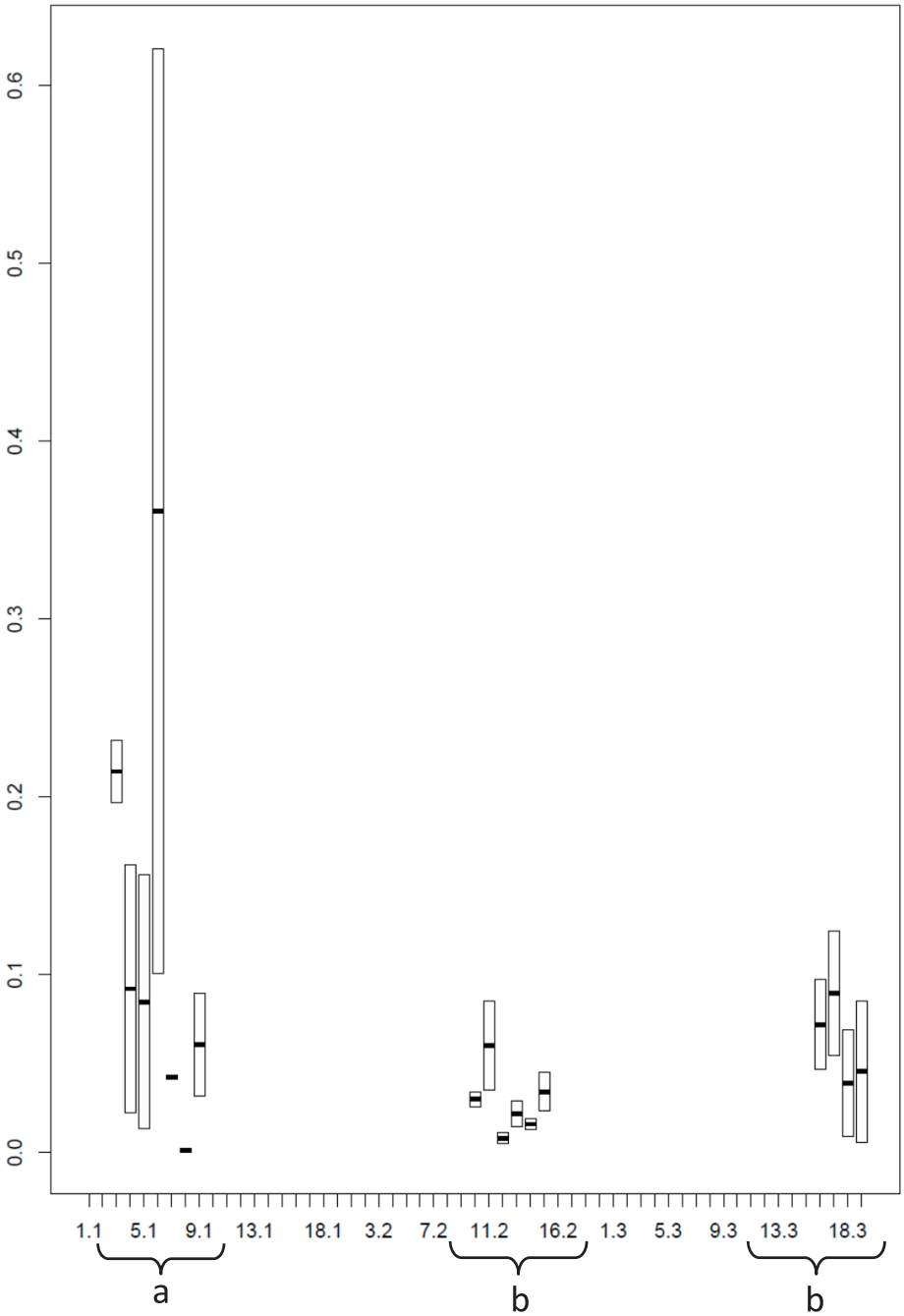


Fig. 7. Analysis of cluster 2 in diploid ('1' after dot), tetraploid ('2' after dot), and hexaploid ('3' after dot) wild oat species.
The digit(s) before dot is a code for species ID according to Table 1 (1 – *A. sativa*, 2 – *A. byzantina*, etc.).
Different letters designate the statistical difference

Рис. 7. Анализ кластера 2 у диплоидных («1» после точки), тетраплоидных («2» после точки) и гексаплоидных («3» после точки) образцов видов дикого овса.
Цифры перед точкой – это код для идентификации вида согласно таблице 1 (1 – *A. sativa*, 2 – *A. byzantina* и т. д.).
Разные буквы обозначают статистическую разницу

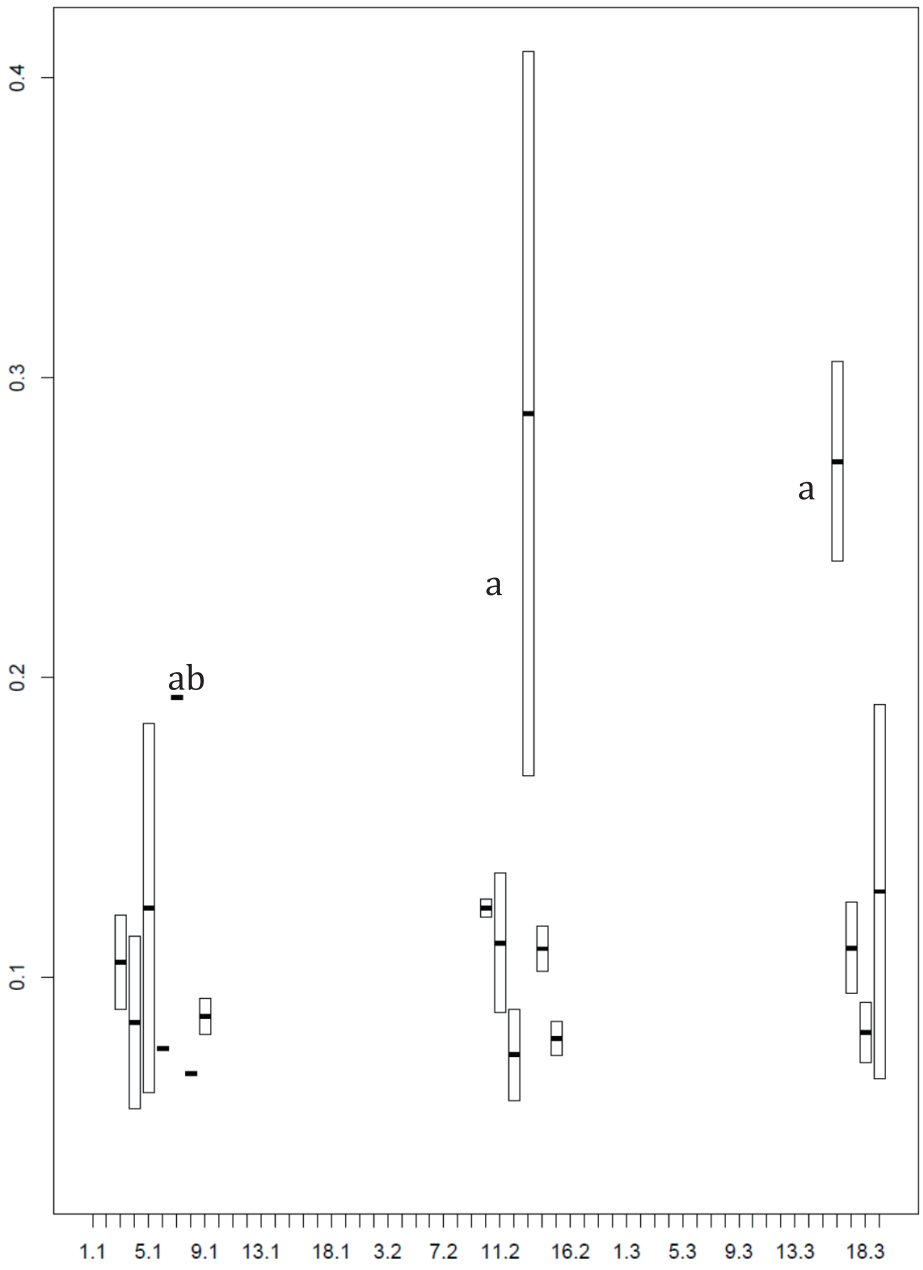


Fig. 8. Cluster 5 in different species of wild oat.
Species with higher AVA levels are marked by 'a'; species with lower levels are not marked with any letter; 'ab' designates the species belonging to both groups

Рис. 8. Кластер 5 у разных образцов диких видов овса.
Виды с более высокими уровнями AVA отмечены «a»; виды с более низкими уровнями не обозначены ни одной буквой; «ab» обозначает вид, который принадлежит к обеим группам

Discussion

1. Total AVA.

In this study, we analyzed the AVA content and composition in 32 wild and 120 cultivated oat accessions and found the AVA levels within the range from 4 to 1825 mg kg^{-1}. In hexaploid cultivars, the lowest AVA content was reported to be 7.7 mg kg^{-1} (Bryngelsson et al., 2002) and the highest 3.0 g kg^{-1} (Redaelli et al., 2016). In a marginally cultivated diploid accession of *A. strigose* Schreb., the total AVA reached 4.1 g kg^{-1} (Redaelli et al., 2016). For wild oats, levels from 240 to 1585 mg kg^{-1} were reported (Redaelli et al., 2016), and this was the only publication on the AVA content in wild oats. In our study, the highest AVA content among wild oats was registered for one accession of hexaploid *A. sterilis* (almost 2 g kg^{-1}), and tetraploid *A. insularis* and diploid *A. longiglumis* (about 600–700 mg kg^{-1}). However, other accessions of *A. insularis* and *A. sterilis* had much lower AVA contents. Thus, we cannot conclude that these species are generally richer in AVAs than other species. Among cultivars, both the lowest (12 mg kg^{-1}) and the highest (up to almost 600 mg kg^{-1}) AVA level were found in naked oat. Thus, once again we cannot conclude that the presence or absence of hulls alone makes an effect on AVA accumulation. Total AVA levels varied drastically between accessions of the same species, which led to the absence of a statistically significant difference between accessions with different ploidy level, hulled and naked accessions, or between species.

Analyses of eight accessions that were reproduced during two years revealed a large difference between the two replications. Remarkably, the conditions in 2014 favored AVA accumulation for four out of eight accessions, while for the three accessions that year was unfavorable, and one accession had the same AVA content in both years. Thus, our data indicate that the conditions promoting AVA accumulation for one cultivar might not have a similar effect on, or can even be highly unfavorable for another cultivar. This is generally in line with other data that showed strong influence of environmental conditions on AVA accumulation (Emmons, Peterson, 2001; Peterson et al., 2005; Redaelli et al., 2016).

2. AVA composition.

Chemical structure and nomenclature of 36 AVAs have been described by M. L. Wise (Wise, 2014). In our study, we were able to detect 25 compounds based on their MW analyzed by LC-MS; of those, 15 compounds were identified, two compounds (R/N and P/S) could not be separated due to the same eluting time and fragmentation pattern, and 8 compounds appeared unknown. Since unknowns eluted at the retention times corresponding to avenanthramides, they were accounted for as AVAs. However, further LC-MS studies are needed to confirm their belonging to the AVA class. There are just a few reports that mention AVAs other than A, B, and C in oat grains; all of them were done on cultivated oat. Those are the works done by Okazaki et al. (2004), where AVAs D, G, and L were reported in addition to the major A, B, and C; Skoglund et al. (2008), who depicted 21 peaks on the HPLC chromatogram; Elene Karlberg with coauthors, who quantified 11 AVAs; M. Wise (2011), who provided MS data of 10 AVA compounds; and A. Ishihara et al. (2014), when AVAs CC, AA, and BB were studied in detail. Our study is the first where analyses of AVAs other than A, B and C were done on wild oats.

Studies on biochemical activity, such as antioxidant and phytoalexin capacity, have only been done for A, B and C. For example, in the study of oat resistance to crown rust, levels of AVA A and B were higher in the resistant cultivars and lower in the susceptible and highly correlated with retardation of hyphae growth (Mayama et al., 1982). On the other hand, in the study of antioxidant capacity, AVA C was shown to outperform A and B (Yang et al., 2014). These two examples demonstrate that different AVAs have different properties. Thus, it is important to further study the properties of other AVAs as they might be more efficient than A, B and C in phytoalexin or antioxidant capacity and/or may possess valuable capacities other than those reported for A, B and C. Our study provides important information on cultivars and wild oats that possess high levels of unusual unstudied AVAs and may serve as a source for production of these AVAs for further investigations. A method called false malting can be used to increase dramatically the levels of AVAs in oat grains, if needed (Collins et al., 2012).

Acknowledgements. We thank Prof. A. Ishimata (Kyoto University, Japan) for providing standards of avenanthramides used in this study. The study was supported by a STINT project entitled Improving Oat Oil Quality and Its Resistance to Pathogens *(Sweden). Plant material from the VIR collection for this study was provided as part of the project No. 0662-2019-0006 (Russian Federation).*

References/Литература

Boz H. Phenolic Amides (Avenanthramides) in Oats – A review. *Czech Journal of Food Sciences*. 2015;33(5):399-404. DOI: 10.17221/696/2014-CJFS

Bratt K., Sunnerheim K., Bryngelsson S., Fagerlund A., Engman L., Andersson R.E. et al. Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure-antioxidant activity relationships. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003;51(3):594-600. DOI: 10.1021/jf020544f

Bryngelsson S., Ishihara A., Dimberg L.H. Levels of Avenanthramides and Activity of Hydroxycinnamoyl-CoA:hydroxyanthranilate *N*-Hydroxycinnamoyl Transferase (HHT) in Steeped or Germinated Oat Samples. *Cereal Chemistry.* 2003;80(3):356-360. DOI: 10.1094/CCHEM.2003.80.3.356

Bryngelsson S., Mannerstedt-Fogelfors B., Kamal-Eldin A., Andersson R., Dimberg L.H. Lipids and antioxidants in groats and hulls of Swedish oats (*Avena sativa* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2002;82(6):606-614. DOI: 10.1002/jsfa.1084

Collins F.W. Oat phenolics: avenanthramides, novel substituted N-cinnamoylanthranilate alkaloids from oat groats and hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 1989;37(1):60-66. DOI: 10.1021/jf00085a015

Collins F.W. Oat Phenolics; Biochemistry and Biological Functionality. In: F.H. Webster, P.J. Woods (eds). *Oats: Chemistry and Technology*. 2nd ed. St. Paul, MN: AACC Inc. p.157-217.

Collins F.W., Burrows V.D. 2012. Method for increasing concentration of avenanthramideds in oats. USA; patent number: US2012/0082740A1; 2012.

Dimberg L.H., Gissén C., Nilsson J. Phenolic compounds in oat grains (*Avena sativa* L.) grown in conventional and organic systems. *Ambio*. 2005;34(4-5),331-337. DOI: 10.1639/0044-7447(2005)034[0331:pcioga]2.0.co;2

Dimberg L.H., Molteberg E.L., Solheim R., Frølich W. Variation in Oat Groats Due to Variety, Storage and Heat Treatment. I: Phenolic Compounds. *Journal of Cereal Science.* 1996;24(3):263-272. DOI: 10.1006/jcrs.1996.0058

Dimberg L.H, Sunnerheim K., Sundberg B., Walsh K. Stability of Oat Avenanthramides. *Cereal Chemistry*. 2001;78(3):278-281. DOI: 10.1094/CCHEM.2001.78.3.278

Emmons C., Peterson D.M. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Oat as Affected by Cultivar and Location. *Crop Science*. 2001;41(6):1676-1681. DOI: 10.2135/cropsci2001.1676

Guo W., Nie L., Wu D., Wise M.L., Collins F.W., Meydani S.N., Meydani M. Avenanthramides inhibit proliferation of human colon cancer cell lines *in vitro*. *Nutrition and Cancer.* 2010;62(8):1007-1016. DOI: 10.1080/01635581.2010.492090

Hitayezu R., Baakdah M.M., Kinnin J., Henderson K., Tsopmo A. Antioxidant activity, avenanthramide and phenolic acid contents of oat milling fractions. *Journal of Cereal Science*. 2015;63:35-40. DOI: 10.1016/j.jcs.2015.02.005

Ishihara A., Miyagawa H., Kuwahara Y., Ueno T., Mayama S. Involvement of Ca^{2+} ion in phytoalexin induction in oats. *Plant Science*. 1996;115:9-19.

Koenig R., Dickman J.R., Kang C., Zhang T., Chu Y.F., Ji L.L. Avenanthramide supplementation attenuates exercise-induced inflammation in postmenopausal women. *Nutrition Journal*. 2014;13:21. DOI: 10.1186/1475-2891-13-21

Loskutov I.G. Oat (*Avena* L.). distribution, taxonomy, evolution and breeding value. St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Овес (*Avena* L.). Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность. Санкт-Петербург: ВИР; 2007).

Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and conservation of the global collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

Loskutov I.G., Rines H.W. *Avena* L. In: C. Kole (ed.). *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Heidelberg, Berlin: Springer; 2011. p.109-184. DOI: 10.1007/978-3-642-14228-4_3

Matsukawa T., Isobe T., Ishihara A., Iwamura H. Occurrence of avenanthramides and hydroxycinnamoyl-CoA:hydroxyanthranilate N-hydroxycinnamoyltransferase activity in oat seeds. *Zeitschrift für Naturforschung C. A Journal of Biosciences*. 2000;55(1-2):30-36. DOI: 10.1515/znc-2000-1-207

Mattila P., Pihlava J.M., Hellström J. 2005. Contents of phenolic acids, alkyl- and alkenylresorcinols, and avenanthramides in commercial grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(21): 8290–8295. DOI: 10.1021/jf051437z

Mayama S., Bordin A.P.A., Morikawa T., Tanpo H., Kato H. Association between avenalumin accumulation, infection hypha length and infection type in oat crosses segregating for resistance to *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* race 226. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 1995a;46:255-261.

Mayama S., Bordin A.P.A., Morikawa T., Tanpo H., Kato H. Association of avenalumin accumulation with co-segregation of victorin sensitivity and crown rust resistance in oat lines carrying the *Pc-2* gene. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 1995b;46:263-274.

Meydani M. Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutrition Reviews*. 2009;67(12):731-735. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2009.00256.x

Miyagawa H., Ishihara A., Nishimoto T., Ueno T., Mayama S. Induction of Avenanthramides in Oat Leaves Inoculated with Crown Rust Fungus, *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1995;59(12):2305-2306. DOI: 10.1271/bbb.59.2305

Ortiz-Robledo F., Villanueva-Fierro I., Oomah B.D., Lares-Asef I., Proal-Nàjera J.B., Nàvar-Chaidez J.J. Avenanthramides and nutritional components of four Mexican oat (*Avena sativa* L.) varieties. *Agrociencia*, 2013;47(3): 225-232.

Peterson D.M. Oat Antioxidants. *Journal of Cereal Science*. 2001;33(2):115-129. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0349

Peterson D.M., Dimberg L.H. 2008. Avenanthramide concentrations and hydroxycinnamoyl-CoA:hydroxyanthranilate *N*-hydroxycinnamoyltransferase activities in developing oats. *Journal of Cereal Science*. 2008;47(1):101-108. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.02.007

Peterson D.M., Wesenberg D.M., Burrup D.E., Erikson C.A. Relationships among Agronomic Traits and Grain Composition in Oat Genotypes Grown in Different Environments. *Crop Science*. 2005;45:1249-1255. DOI: 10.2135/cropsci2004.0063

Redaelli R., Dimberg L., Germeier C.U., Berardo N., Locatelli S., Guerrini L. Variability of tocopherols, tocotrienols and avenanthramides contents in European oat germplasm. *Euphytica*. 2016;207:273-292. DOI: 10.1007/s10681-015-1535-8

Ren Y., Wise M. Avenanthramide Biosynthesis in Oat Cultivars Treated with Systemic Acquired Resistance Elicitors. *Cereal Research Communications*. 2012;41(2):255-265. DOI: 10.1556/CRC.2012.0035

Ren Y., Yang X., Niu X., Liu S., Ren G. Chemical characterization of the avenanthramide-rich extract from oat and its effect on D-galactose-induced oxidative stress in mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(1):206-211. DOI: 10.1021/jf103938e

Rodionova N.A., Soldatov V.N., Merezhko V.E., Yarosh N.P., Kobylyansky V.D. Flora of cultivated plants. Vol. 2 (Pt 3). Oat (Kulturnaya flora. T. 2, ch. 3. Oves). Moscow: Kolos; 1994. [in Russian] (Родионова Н.А., Солдатов В.Н., Мережко В.Е., Ярош Н.П., Кобылянский В.Д. Культурная флора. Т. 2, ч. 3. Овес. Москва: Колос; 1994).

Wang P., Chen H., Zhu Y., McBride J., Fu J., Sang S. Oat Avenanthramide-C (2c) Is Biotransformed by Mice and the Human Microbiota into Bioactive Metabolites. *The Journal of Nutrition*. 2014;145(2):239-245. DOI: 10.3945/jn.114.206508

Wise M.L. Avenanthramides: Chemistry and Biosynthesis. In: Y. Chu (ed.). *Oats Nutrition and Technology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.; 2014. p.195-226. DOI: 10.1002/9781118354100.ch8

Wise M.L. Effect of chemical systemic acquired resistance elicitors on avenanthramide biosynthesis in oat (*Avena sativa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(13):7028-7038. DOI: 10.1021/jf2008869

Wise M.L., Doehlert D.C., McMullen M.S. Association of Avenanthramide Concentration in Oat (*Avena sativa* L.) Grain with Crown Rust Incidence and Genetic Resistance. *Cereal Chemistry*. 2008;85(5):639-641. DOI: 10.1094/CCHEM-85-5-0639

Yang J., Ou B., Wise M.L., Chu Y. In vitro total antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of three common oat-derived avenanthramides. *Food Chemistry*. 2014;160(1):338–345. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.059

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

Леонова С., Гнутиков А., Лоскутов И., Блинова Е., Густафссон К.-Е., Олссон О. Разнообразие содержания авенантрамидов у культурного и дикого овса. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):30-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-30-47

Leonova S., Gnutikov A., Loskutov I., Blinova E., Gustafsson K.-E., Olsson O. Diversity of avenanthramide content in wild and cultivated oats. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):30-47. DOI:10.30901/ 2227-8834-2020-1-30-47

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

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-30-47

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

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest

ORCID
Leonova S.L. https://orcid.org/0000-0003-3675-6355
Gnutikov A. https://orcid.org/0000-0002-5264-5594
Loskutov I.G. https://orcid.org/0000-0002-9250-7225
Blinova E. https://orcid.org/0000-0002-8898-4926
Gustafsson K-E. https://orcid.org/0000-0002-9618-5775
Olsson O. https://orcid.org/0000-0003-3962-9183

Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52
УДК 633.34:631.527
Поступление/Received: 13.11.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources

А. Ю. НЕКРАСОВ

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2
kos.vir.nekrasov@mail.ru

A. Y. NEKRASOV

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources , Kuban Experiment Station of VIR, 2 Tsentralnaya St., Krasnodar 352183, Russia
kos.vir.nekrasov@mail.ru

Благодаря своему уникальному биохимическому составу, связанному с этим многофункциональному использованию и высокой рентабельностью промышленного и сельскохозяйственного производства соя является исключительно ценной культурой. В ее семенах накапливается до 45% высококачественного растительного белка, который близок по своему составу к белку животного происхождения. Большое значение имеет соя и как масличная культура – в ее семенах накапливается до 28% масла. Широко используется в животноводстве для производства кукурузно-соевого силоса и сенажа. Может использоваться и как сидеральная культура для обогащения почвы азотом за счет клубеньковых бактерий. Высокая потребность и цена делает ее высоко рентабельной сельскохозяйственной культурой. Исходя из всего вышеизложенного очевидно, что соя представляет большой интерес для селекции. На Кубанской опытной станции ведется полевое изучение новых сортов сои по методике для зернобобовых культур ВИР. На основе трехлетних исследований выделяются перспективные сорта, источники и доноры по различным ценным признакам. В этой статье использованы данные по изучению сои с 2014 по 2016 г. По урожайности следует отметить образцы: к-11385, к-11479; и-623931. По крупности семян следует обратить внимание на образцы: к-11489; к-11491; к-11533; к-11529; к-11537; и-623952; и-623967; и-623980; и-623958; и-623987. По высоте прикрепления нижнего боба можно отметить два образца: и-623960; к-11494. Все выделенные образцы могут быть использованы в селекции как источники ценных признаков.

Ключевые слова: коллекция, образец, урожайность, селекция, крупность, источник.

Soybean is an extremely valuable crop due to its unique biochemical composition, which underpins multifunctional utilization of this crop and high profitability of its industrial and agricultural production. Soybean seeds accumulate up to 45% of high-quality vegetable protein, which is close in composition to the protein of animal origin. Soybean is also of great importance as an oil-producing crop, accumulating up to 28% of oil in its seeds. It is widely used in animal husbandry for the production of maize-soybean silage and haylage. It can also be used as a green manure crop to enrich the soil with nitrogen at the expense of nodule bacteria. High demand and the price make it a highly profitable agricultural crop. It is clear from the above-mentioned advantages that soybean is of great interest to breeders. The Kuban Experiment station of VIR conducts field studies of new soybean cultivars using the practices worked out for leguminous crops at VIR. Three years of research have resulted in identification of promising cultivars, sources and donors of various valuable traits. This article is based on the data obtained from the study of the soybean collection from 2014 to 2016. Accessions k-11385, k-11479, and i-623931 were distinguished for their high yield. The following accessions stood out for their seed productivity per plant: k-1475, k-11472, k-11535, k-11466, k-11478, k-11577, k-11467, and k-11469. The size of seeds was the best in accessions k-11489, k-11491, k-11533, k-11529, k-11537, i-623952, i-623967, i-623980, i-623958, and i-623987. Two accessions appeared noticeable for the height of lower pod attachment: i-623960 and k-11494. All selected accessions can be used in breeding programs as sources of valuable traits.

Key words: accession, yield, seeds, breeding practice.

Введение

Столь глобальное значение соя приобрела благодаря своему уникальному биохимическому составу, связанному с этим многофункциональному использованию и высокой рентабельности промышленного производства (Enkin, 1959). В семенах сои накапливается от 35 до 45% высококачественного растительного белка, который в 10–12 раз дешевле животного. По своему химическому составу он напоминает белки животного происхождения. По содержанию незаменимых аминокислот в белке соя не только имеет большие преимущества перед зерновыми и масличными культурами, но и среди бобовых ей нет равных. Содержание масла в ее семенах достигает 28%. Соевое масло характеризуется высокой биологической активностью из-за повышенного количества линоленовой кислоты и связанной с этим увеличенной F-витаминной активностью. Из общего мирового производства растительных масел на долю соевого приходится 30%. (Petibskaya et al., 2001). Соя имеет также большое значение в агрономии как сидеральная культура. На корневой системе сои существует устойчивый симбиоз с азотфиксирующими клубеньковыми бактериями, которые обогащают почву азотом. Считается, что прибавка урожайности зерновых, выращиваемых после

сои, достигает трех-четырех центнеров с гектара (Enken, 1959).

Средняя урожайность сои в мире составляет 2,2–2,3 т/га. Но это не предел биологических возможностей сои. Подтвержденная рекордная урожайность этой культуры в США составляла 7,4 т/га (Zelentsov, 1998). При этом средняя урожайность сои в России в последние годы приблизилась к 1,5 т/га, а валовый сбор в 2018 г. достиг 4 млн т (Kulistikova, Maksimova, 2019). Реальные потребности страны в сое и продуктах ее переработки в 7–10 раз выше. Поэтому в России существует реальная возможность расширения ее посевных площадей, особенно в новых регионах, и размещение на новых площадях высокопродуктивных сортов сои, отличающихся улучшенным комплексом хозяйственно ценных признаков, высокопластичных, адаптированных к новым условиям среды и способных давать рентабельную конкурентоспособную продукцию (Zaytsev et al., 2016).

На Кубанской опытной станции ВИР (КОС ВИР, Краснодарский край) сою стали изучать с 1926 г. К настоящему времени на КОС ВИР была изучена большая часть коллекции сои, насчитывающей 7500 образцов, а результаты опубликованы в семи каталогах. Основной *целью данной работы* является изучение образцов, недавно поступивших в коллекцию ВИР, и выделение среди них источников основных хозяйственно ценных признаков, рекомендуемых для использования в селекции, для создания новых высокоурожайных пластичных сортов.

Материалы и методика исследований

Изучение новых перспективных образцов сои проводилось на Кубанской опытной станции в полях научного севооборота с 2014 по 2016 г. Тип земледелия – на богаре. Всего на изучении находился 51 образец. Образцы высевались на четырехметровых делянках с учетной площадью 2,8 м^2. Через каждые десять номеров высевали стандарт. В качестве стандарта (St.) с 1973 года используется сорт селекции ВНИИМК ‘Комсомолка’ (к-5959). Погодные условия за три года изучения были разнообразными. Средняя сумма активных температур от фазы «всходы» до фазы «созревание» за данный период составила 2803,7°С, максимальная – 2932,4°С, минимальная – 2719,2°С. Два года из трех сумма активных температур была ниже средней за данный период изучения. Средняя норма выпавших осадков в межфазный период «всходы – созревание» составила 251,0 мм, максимальное значение – 375,0 мм, минимальное – 184,7 мм. Средний показатель за учетный период «цветение – созревание» составил 96,6 мм. Максимальный показатель оказался на уровне 174,0 мм, минимальный – 36,0 мм. По осадкам два года из трех были ниже средних показателей. Погодно-климатические данные получены на Отрадо-Кубанском метеопункте № 451804052, расположенном в п. Ботаника. Все учетные показатели получены согласно методикам, разработанным в ВИР (Korsakov, Myakushko, 1975; Shchelko et al., 1990; Vishnyakova et al., 2010). Обработка результатов выполнялась общепринятыми методами (Dospekhov, 1985). Оценка приведена по основным хозяйственно ценным признакам: продолжительность вегетационного периода, урожайность, масса 1000 семян, высота прикрепления нижнего боба.

Результаты исследований

Географическое происхождение. Изучен 51 образец из двенадцати стран: из Украины (20 образцов), Японии (9), Канады (5), России (4), Швеции (3), по два образца из США, Франции и Чехии, по одному образцу из Белоруссии, Китая, Нидерландов, Эстонии.

Продолжительность вегетационного периода – это важный фактор полевой оценки образца, указывающий на скороспелость или позднеспелость. Средняя продолжительность периода вегетации сорта-стандарта ‘Комсомолка’ составила 129 дней, а всего набора исследуемых образцов – 108 дней. Большую часть данного набора составили скороспелые образы (52%). Минимальную продолжительность вегетационного периода показал образец ‘Saaremaa’(к-11525) из Эстонии – 87 дней. Самым позднеспелым оказался сорт ‘Муссон’ (к-11385) селекции Приморского НИИСХ – 127 дней.

Согласно «Международному классификатору СЭВ рода *Glycine* Willd.» (Shchelko et al., 1990), исследуемые нами образцы по продолжительности вегетационного периода можно подразделить на четыре группы, от очень скороспелых до среднеспелых. Ультраскороспелых образцов в данном наборе не было выявлено.

1. Очень скороспелые (80–90 дней от всходов до созревания) – 4 образца: ‘Дени’ (к-11530) из Украины; ‘Grignon 19’ (и-623960) и ‘Vilnensis’ (к-11487) из Франции; ‘Saaremaa’ (к-11525) из Эстонии.

2. Скороспелые (91–110 дней) – 24 образца: ‘Misty’ (к-11479), ‘Tundra’ (к-11578) из Канады; ‘Ras 20’(к-11486) из Нидерландов; ‘Лариса’ (к-11533) из Сербии; ‘Ogemaw’(к-11491) из США; ‘Вінні’ (к-11468), ‘Діадема’ (к-11531), ‘Данко’ (к-11470), ‘Княжна’ (к-11532), ‘Либідь’ (к-11534) из Украины; ‘Silesia’ (и-623746) из Чехии; ‘738-4’ (к-11489), ‘740-1’ (и-623967), ‘766-2’ (к-11488) из Швеции; ‘Cha Kura Kake’ (и-623952), ‘Gokuwase Hayabusa Edamame’ (к-11490), ‘Hidaka’ (и-623987), ‘Kosodiguri Extra Early’ (и-623953), ‘Miharu Daizu’ (и-623980), ‘Wasekosode’ (и-624008) и образец и-623958 из Японии; а также сорта Белгородской ГСХА: ‘Белгородская 6’ (к-11398), ‘Белгородская 7’ (к-11403), ‘Белгородская 8’ (к-11404).

3. Среднескороспелые (111–120 дней) – 22 образца: ‘Acora’ (к-11478), ‘Jutra’ (к-11540), ‘Naya’ (к-11480) из Канады; ‘Envy’ (к-11537) из США; ‘Антарес’ (к-11465), ‘Аратта’ (к-11466), ‘Вінничанка’ (к-11467), ‘Вежа’ (к-11529), ‘Даная’ (к-11469), ‘Знахідка’ (и-623933), ‘Маша’ (к-11471), ‘Орія’ (к-11472), ‘Сіверка’ (к-11572), ‘Стратегия’ (к-11473), ‘Тріада’ (к-11535), ‘Хуторяночка’ (к-11474), ‘Шарм’ (к-11475) из Украины; ‘Brunensis’ (и-623745) из Чехии; ‘Shirofusa’ (к-11577), ‘Natsunoka’ (к-11539) из Японии и образец ‘Fiskeby V E5’ (к-11526), созданный в Белоруссии на основе шведского сорта ‘Fiskeby V’.

4. Среднеспелые (121–130 дней) – 2 образца: к-11464 из Китая и ‘Муссон’ (к-11385) из России (селекции Приморского НИИСХ).

Уже давно существует интерес к скороспелым сортам сои (Shchelko et al.,1990). Сейчас из 245 сортов сои, указанных в Госреестре, к скороспелым относятся 213 сортов, то есть большая их часть (State Register…, 2019). Безусловно, большой интерес для селекционеров при подборе родительских пар для создания новых сортов сои будут иметь сорта из первых двух групп. Выведение новых скороспелых сортов будет

способствовать расширению ареала возделывания сои все дальше на север.

Урожайность – один из основополагающих признаков в селекции. Данный признак подвержен влиянию многих факторов, таких как место возделывания, погодные условия и агротехника. Тем не менее урожайность прежде всего зависит от генотипа сорта. Учет данного признака проводили в г/м^2 и в процентах к сорту-стандарту 'Комсомолка'. Средняя урожайность стандарта за исследуемый период составила 246,2 г/м^2, минимальная – 131,0 г/м^2 в 2014 г., максимальная – 383,8 г/м^2 в 2016 г. Средняя урожайность всего набора исследуемых образцов была 99,1 г/м^2, что оказалось значительно ниже стандарта из-за того, что большая часть изучаемого набора образцов сои представлена скороспелыми образцами, которые по урожайности уступают среднеспелому сорту-стандарту 'Комсомолка'. Рассмотрим данный признак в различных группах спелости.

В группе очень скороспелых средняя урожайность составила 49,8 г/м^2; максимальную урожайность показал сорт 'Дени' из Украины – 88,6 г/м^2, или 36% к St. Минимальный показатель урожайности был у образца 'Saaremaa' из Эстонии – 33,0 г/м^2, или 13% к St.

По группе скороспелых средний показатель урожайности составил 72,0 г/м^2. Максимальную урожайность показал сорт 'Misty' из Канады – 152,8 г/м^2, или 62% к St.; также выделился сорт 'Tundra' из Канады – 100,4 г/м^2, или 41% к St. при продолжительности вегетационного периода в 93 дня. Минимальную – образец и-623958 из Японии – 34,2 г/м^2, или 14% к St.

В группе среднескороспелых средний показатель данного признака составил 123,1 г/м^2. Максимальную урожайность в данной группе показал сорт 'Аратта' из Украины – 196,8 г/м^2, или 80% к St., Минимальную урожайность имел образец 'Shirofusa' из Японии – 45,0 г/м^2, или 18% к St.

По группе среднеспелых средняя урожайность составила 204,4 г/м^2. Максимальную урожайность показал сорт 'Муссон' из России – 237,6 г/м^2, или 96% к St., минимальную – образец к-11464 из Китая – 181,0 г/м^2, или 74% к St. Как видим, в этой группе спелости ни один из образцов не превзошел стандарт.

В таблице 1 охарактеризованы образцы, показавшие наибольшую урожайность в изучаемом наборе. Учитывая, что средняя урожайность стандарта за исследуемый период составила 246,2 г/м^2, даже наиболее урожайные сорта не превышали 96% от стандарта, и таким образом в Восточной зоне Краснодарского края являлись низко- и среднеурожайными. Из них шесть образцов по срокам созревания относятся к группе среднескороспелых и два – к среднеспелым. По массе 1000 семян все эти образцы можно отнести к группе со средней крупностью.

Крупность семян – один из важных элементов структуры урожая. Учет данного признака проводили по массе 1000 семян в граммах. Средняя крупность семян стандарта составила 178 г. Наименьший показатель по крупности у сорта-стандарта 'Комсомолка' был в 2015 г. и составил 159 г, наибольший – в 2016 году и составил 199 г. Средняя крупность семян всего набора изучаемых образцов составила 190,6 г. Минимальный показатель был у образца 'Княжна' из Украины – 113 г, максимальный – у образца 'Hidaka' из Японии – 279 г. Весь исследуемый набор образцов по массе 1000 семян можно разделить на варианты в соответствии с «Международным классификатором СЭВ рода *Glycine* Willd.» (Shchelko et al., 1990): мелкие (101–130 г) – 2 обр., средние (131–190 г) – 26 обр., крупные (191–250 г) – 22 обр., очень крупные (> 250) – 3 обр. Наибольший интерес по данному признаку могут представлять образцы из двух последних групп – крупные и очень крупные.

В группе очень скороспелых средний показатель по крупности семян был 172 г. Минимальную массу показал сорт 'Дени' из Украины (151 г), максимальную (205 г) – образец 'Vilnensis' из Франции.

По группе скороспелых средний показатель составил 201 г. Минимум показал сорт 'Княжна' из Украины (113 г), максимум – образец 'Hidaka' из Японии (279 г).

В группе среднескороспелых средний показатель массы 1000 семян составил 185 г. Минимальный показатель данного признака был у сорта 'Маша' из Украины (124 г), максимальный – у сорта 'Envy' из США (244 г).

По группе среднеспелых, в которую вошли только два сорта, крупность семян была средняя: у сорта 'Муссон' из России – 166 г, у к-11464 из Китая – 188 г.

Таблица 1. Группа наиболее урожайных образцов сои
(Кубанская опытная станция ВИР; Краснодарский край, 2014–2016 гг.)

Table 1. The group of the most high-yielding soybean accessions
(Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, 2014–2016)

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Урожайность семян г/м^2 / Seed yield, g/m^2	Масса 1000 семян, г / 1000 seed weight, g	Период «всходы – созревание», дни / Emergence to maturity period, days
к-11385	Муссон	Россия	237,0	166	127
к-11466	Аратта	Украина	196,8	164	117
к-11467	Вінничанка	Украина	186,6	166	120
к-11469	Даная	Украина	185,6	182	119
к-11464	–	Китай	181,0	169	125
к-11472	Орія	Украина	174,3	177	120
к-11471	Маша	Украина	165,7	124	120
к-11475	Шарм	Украина	158,2	180	117

Как видно из таблицы 2, все крупносемянные образцы оказались с достаточно низкой урожайностью и относятся к разным группам спелости. Все вышеперечисленные образцы могут служить источником данного признака и использоваться в селекции при создании новых сортов сои.

Таблица 2. Образцы сои с наибольшей массой 1000 семян
(Кубанская опытная станция ВИР; Краснодарский край, 2014–2016 гг.)

Table 2. Soybean accessions with the highest 1000 seed weight
(Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, 2014–2016)

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Масса 1000 семян, г / 1000 seed weight, g	Урожайность семян г/м² / Seed yield, g/m²	Период «всходы – созревание», дни / Emergence to maturity period, days
к-11489	738-4	Швеция	223	40,7	92
к-11491	Ogemaw	США	223	52,0	103
к-11533	Лариса	Сербия	224	67,7	110
и-623952	Cha Kura Kake	Япония	225	34,2	99
и-623967	740-1	Швеция	234	36,2	96
к-11529	Вежа	Украина	235	46,2	114
к-11537	Envy	США	244	88,6	113
и-623980	Miharu Daizu	Япония	257	43,3	99
и-623958	Без названия	Япония	258	34,2	94
и-623987	Hidaka	Япония	279	36,0	102

Прикрепление нижнего боба – один из признаков, указывающий на приспособленность сорта к механической уборке. Учет данного признака проводили в сантиметрах от земли до места прикрепления нижнего боба. Средний показатель высоты прикрепления нижнего боба у сорта-стандарта 'Комсомолка' составил 14 см. Минимальный показатель был в 2015 г. (11 см), максимальный – в 2016 г. (18 см). Средний показатель всего набора исследуемых образцов – 6,6 см. Минимум по данному признаку показал сорт 'Тріада' из Украины (2,3 см), максимум – образец 'Grignon 19' из Франции (12,5 см). Все исследуемые образцы согласно «Международному классификатору СЭВ рода *Glycine* Willd.» (Shchelko, 1990) можно отнести к трем группам:

1. очень малая высота прикрепления (< 6,1 см): вошли 20 образцов, или 37,7%;
2. малая высота прикрепления (6,1–12,0 см): вошел 31 образец, или 58,5%;
3. средняя высота прикрепления (12,1–16,0 см): вошли 2 образца, или 3,8%.

По группе очень скороспелых средний показатель высоты прикрепления нижнего боба составил 7,4 см. Минимальный показатель был у образца 'Vilnensis' из Франции (5,0 см), максимальный – у образца 'Grignon 19' из Франции (12,5 см).

В группе скороспелых средний показатель данного признака составил 6,5 см. Минимальный показатель был у образца и-624008 из Японии (2,7 см), максимальный – у образца 'Княжна' из Украины (10,0 см).

По группе среднескороспелых образцов средний показатель данного признака был 6,3 см. Минимально выражен признак у сорта 'Тріада' из Украины (2,3 см), максимально – у сорта 'Шарм' из Украины (9,7 см).

Средний показатель высоты прикрепления нижнего боба по группе среднеспелых составил 9,1 см. Минимальный показатель данного признака был у сорта 'Муссон' из России (8,0 см), максимальный – у образца к-11464 из Китая (12,3 см).

Из всех исследуемых образцов 96,2% имели очень малую и малую высоту прикрепления нижнего боба. И только у двух образцов данный признак оказался средним. Возможно использовать образцы 'Grignon 19' из Франции и к-11464 из Китая (12,5 и 12,3 см соответственно) как источники этого признака.

Для выяснения взаимозависимостей признаков был проведен корреляционный анализ. Многие связи оказались отрицательными. Коэффициент корреляции (r) между признаками урожайности и крупности семян составил –0,52; между урожайностью и высотой прикрепления нижнего боба –0,33; между признаком крупности семян и высотой прикрепления нижнего боба –0,30; между признаком крупности семян и продолжительностью вегетационного периода –0,20. Положительной и сильной была связь между признаком урожайности и вегетационным периодом (r = 0,70). Практически отсутствовала связь между признаком высоты прикрепления нижнего боба и продолжительностью вегетационного периода (r = 0,08).

Таким образом, более продуктивными в Восточной зоне Краснодарского края являются среднеспелые сорта со средней крупностью семян.

Выводы

Итогом трехлетней работы изучения сои по основным хозяйственно ценным признакам является набор сортов, выделившихся по определенным показателям. Все выделенные образцы могут быть использованы в селекции как источники ценных признаков.

По урожайности следует отметить следующие сорта: 'Муссон' (к-11385) из России; 'Аратта' (к-11466) и 'Дени' (к-11530) из Украины; 'Misty' (к-11479), 'Tundra' (к-11578) из Канады; к-11464 из Китая.

По крупности семян следует обратить внимание на образцы: 'Лариса' (к-11533) из Сербии; 'Ogemaw' (к-11491), 'Envy' (к-11537) из США; '738-4' (к-11489), '740-1' (и-

623967) из Швеции; 'Вежа' (к-11529) из Украины; 'Cha Kura Kake' (и-623952), 'Hidaka' (и-623987), 'Miharu Daizu' (и-623980) и образец и-623958 из Японии;

По высоте прикрепления нижнего боба можно отметить два образца: к-11464 из Китая; 'Grignon 19' (и-623960) из Франции.

Работа была 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 из коллекции ВИР».

References/Литература

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

Enken V.B. Soybean (Soya). Moscow; 1959. [in Russian] (Енкен В.Б. Соя. Москва; 1959).

Korsakov N.I., Myakushko Y.P. Soybean. Methodological guidelines for plant breeding and seed production (Soya. Metodicheskiye ukazaniya po selektsii i semenovodstvu). Leningrad: VIR; 1975. [in Russian] (Корсаков Н.И., Мякушко Ю.П. Соя. Методические указания по селекции и семеноводству. Ленинград: ВИР; 1975).

Kulistikova T, Maksimova E. The market is flooded with soybeans (Rynok zasypalo soyey). *AgroInvestor*. March 16, 2019. [in Russian] (Кулистикова Т., Максимова Е. Рынок засыпало соей. *АгроИнвестор*. 16.03.2019). URL: https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/31414-rynok-zasypalo-soey/ [дата обращения: 10.12.2019].

Petibskaya V.S., Baranov V.F., Kochegura A.V., Zelentsov S.V. Soybean: quality, utilization, production (Soya: kachestvo, ispolzovaniye, proizvodstvo). Moscow; 2001. [in Russian] (Петибская В.С., Баранов В.Ф., Кочегура А.В., Зеленцов С.В. Соя: качество, использование, производство. Москва; 2001).

Shchelko L., Sedova T., Kornejchuk V., Pastukha L., Sinskiy T., Hofirek P., Bares I., Sehnalova J. The International COMECON List of Descriptors for the Genus *Glycine* Willd. Leningrad: VIR; 1990. [in Russian] (Щелко Л., Седова Т., Корнейчук В., Пастуха Л., Синский Т., Гофирек П., Бареш И., Сегналова Я. Международный классификатор СЭВ рода *Glycine* Willd. Ленинград: ВИР; 1990).

State Register for Selection Achievements Admitted for Usage. Vol. 1 "Plant varieties". Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh"; 2019. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений». Москва: ФГНБУ «Росинформагротех»; 2019). URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/07/REESTR_2019-3.pdf [дата обращения: 20.12.2019].

Vishnyakova M.A., Buravtseva T.V., Bulyntsev S.V., Burlyaeva M.O., Semenova E.V., Seferova I.V., Aleksandrova T.G., Yankov I.I., Egorova G.P, Gerasimova T.V., Drugova E.V. Methodological guidelines. The VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying (Metodicheskiye ukazaniya. Kollektsiya mirovykh geneticheskikh resursov zernovykh bobovykh VIR: popolneniye, sokhraneniye i izucheniye). St. Petersburg: VIR; 2010. [in Russian] (Вишнякова М.А., Буравцева Т.В., Булынцев С.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Александрова Т.Г., Яньков И.И., Егорова Г.П., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Методические указания. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Санкт-Петербург: ВИР; 2010).

Zaytsev N.I., Bochkaryov N.I., Zelentsov S.V. Prospects and directions for soybean breeding in Russia under implementation conditions of the national strategy of import substitution. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK.* 2016;2(166):3-11. [in Russian] (Зайцев Р.И., Бочкарев Н.И., Зеленцов С.В. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях национальной стратегии импортозамещения. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2016;2(166):3-11).

Zelentsov S.V. Applicability of the law of homologous series in soybean breeding for quality (Primenimost zakona gomologicheskikh ryadov v selektsii soyi na kachestvo). *Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK.* 1998;1(119):11. [in Russian] (Зеленцов С.В. Применимость закона гомологических рядов в селекции сои на качество. *Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 1998;1(199):11).

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

Некрасов А.Ю. Соя: источники из коллекции генетических ресурсов ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):48-52. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52

Nekrasov A.Y. Soybean: sources from the VIR collection of genetic resources. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):48-52. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-48-52

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/10.30901/2227-8834-2020-1-48-52

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
Nekrasov A.Yu. https://orcid.org/0000-0001-7332-1209

Отдельные морфоструктурные компоненты продуктивности сортов черной смородины

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-53-63
УДК 634.723.1:632.524.84:631.524.5
Поступление/Received: 24.12.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Individual morphostructural components of yield in black currant cultivars

О. А. ТИХОНОВА

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

O. A. TIKHONOVA

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

Актуальность. Величина плода, внешняя его привлекательность, наряду с другими важнейшими характеристиками сорта, всегда имели немаловажное значение, особенно для любительского садоводства. Поэтому новые сорта, пополняющие генофонд черной смородины ВИР, помимо изучения основных биолого-хозяйственных признаков (особенностей биологии цветения и плодоношения, устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды) проходят обязательную проверку и на качество урожая. Задача нашего исследования состояла в оценке отдельных морфоструктурных компонентов продуктивности новых сортов, пополнивших коллекцию черной смородины ВИР в последние годы. **Материалы и методы.** Механический состав ягод и кистей изучали в 2013–2015 гг. на коллекции черной смородины научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». В качестве объектов исследования использовали 41 сорт черной смородины различного эколого-географического происхождения. Контролем служил районированный по Северо-Западу РФ сорт 'Петербурженка'. При проведении исследований руководствовались общепринятыми методиками. Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Microsoft Excel. **Результаты и заключение.** Проведенное исследование отдельных морфоструктурных компонентов продуктивности позволило выделить наиболее крупноплодные и стабильные по массе ягоды сорта, с выполненными кистями, содержащими 8–9 ягод. Лучшими по сочетанию изученных признаков для промышленного возделывания и любительского садоводства на Северо-Западе России являются сорта 'Гармония' (к-40677), 'Kriviai' (к-42517), 'Ben Sarek' (к-41435), 'Joninai' (к-43124), 'Журавушка' (к-40681), 'Шалунья' (к-41988). Выявлены взаимосвязи между отдельными морфоструктурными компонентами продуктивности: масса ягоды – диаметр ягоды (r = 0,92); масса ягоды – количество семян (r = 0,74); длина кисти – количество цветков в кисти (r = 0,65); длина кисти – количество ягод в кисти (r = 0,52).

Ключевые слова: масса ягоды, диаметр ягоды, длина кисти, вариабельность, семенная продуктивность, количество цветков в кисти, количество ягод в кисти.

Background. The size of the fruit, its external attractiveness, along with other important characteristics of a variety, have always been important, especially for amateur gardening. Therefore, new cultivars replenishing the gene pool of black currant preserved by VIR, in addition to their main biological and economic characteristics (flowering and fruiting biology features, resistance to abiotic and biotic environmental factors), undergo mandatory testing for the quality of yield. The aim of this study was to assess individual morphostructural yield components in new cultivars added to the black currant collection of VIR. **Materials and methods.** The mechanical composition of berries and bunches was analyzed at Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR in 2013–2015. Forty-one black currant cultivars of various ecogeographic origin were the material for the research. Cv. 'Peterburzhenka', listed in the State Register of Breeding Achievements for the Northwestern region of Russia, served as the reference. The research was conducted by conventional methods. Statistical data processing was performed using Microsoft Excel. **Results and conclusions.** Studying individual morphostructural components of yield made it possible to identify cultivars with the largest berries, the most stable fruit weight, and bunches containing 8–9 plump berries. The cultivars with the best combinations of the studied characteristics, suitable for large-scale cultivation and amateur gardening in the Northwest of Russia, are 'Garmoniya' (k-40677), 'Kriviai' (k-42517), 'Ben Sarek' (k-41435), 'Joninai' (k-43124), 'Zhuravushka' (k-40681), and 'Shalynya' (k-41988). Correlations between separate morphostructural yield components were identified, such as: fruit weight – fruit diameter (r = 0.92); fruit weight – number of seeds (r = 0.74); bunch length – number of flowers per bunch (r = 0.65), bunch length – number of berries per bunch (r = 0.52).

Key words: fruit weight, fruit diameter, bunch length, variability, number of seeds per berry, number of flowers per bunch, number of berries per bunch.

Введение

В садоводстве, особенно любительском, величина плода как непременный атрибут внешней привлекательности ценится не менее таких важных признаков, как продуктивность и устойчивость к болезням и вредителям.

Сорта, сохраняемые в составе генофонда черной смородины ВИР, помимо изучения основных биолого-хозяйственных признаков (особенностей биологии цветения и плодоношения, устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды и др.) оцениваются в том числе и по морфоструктурным компонентам продуктивности.

Задача нашего исследования заключалась в проведении анализа механического состава ягод и кистей новых сортов, пополнивших коллекцию ВИР в последние годы. При этом определяли среднюю и максимальную массу и диаметр ягоды, семенную продуктивность и оценивали такие компоненты продуктивности, как длина кисти, количество цветков и ягод в ней.

Материал и методика

Механический состав ягод и кистей изучали в 2013–2015 гг. на коллекции черной смородины научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», расположенной в 30 км к югу от г. Санкт-Петербурга. В качестве объектов исследования был использован 41 сорт черной смородины различного эколого-географического происхождения. Контролем (К) служил районированный по Северо-Западу РФ сорт ‘Петербурженка’. При проведении исследований руководствовались общепринятыми методиками (Program..., 1973; 1999). Изучение каждого сорта по указанным морфометрическим показателям проводилось в течение не менее трех лет. Определение средней массы ягоды проводили путем взвешивания средней пробы из 100 ягод. По таким морфометрическим признакам, как длина кисти, количество цветков и ягод в кисти, диаметр ягоды, количество семян в ягоде, количество измерений (n) составило не менее 10–15. Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Microsoft Excel и методических указаний (Dospekhov, 1985).

Погодные условия во время проведения исследования были достаточно сложными. Зимние месяцы и вегетационный период 2013 г. были относительно благоприятными как для перезимовки растений, так и для формирования урожая. В зиму 2014 г. также не наблюдалось резких перепадов температур, оказывающих губительное действие на зачатки цветков в смешанных почках. Тем не менее, длительные бесснежные периоды в позднеосеннее время в 2013 г. и первые зимние месяцы 2014 г. при резком наступлении холодов сказались на перезимовке ряда сортов. Кроме того, в 2014 и 2015 г. наблюдались возвратные весенние заморозки, значительно снизившие качество урожая. В 2014 г. очень дождливой была третья декада мая, обильные осадки в июне и жаркий, засушливый июль-месяц. Самые благоприятные условия для формирования плодов сложились в 2013 г.

Результаты и обсуждение

Одним из наиболее значимых компонентов продуктивности является масса ягоды. Крупноплодность – генетически зависимый признак, однако его проявление в сильной степени зависит от агротехнических условий выращивания, возраста растений, условий опыления и оплодотворения и других факторов (Shirko et al., 1993; Knyazev, Ogol’tsova, 2004). Тем не менее, несмотря на то что масса ягоды довольно динамичный показатель, определяющими все же являются сортовые особенности, так как при оптимальных условиях выращивания различия между сортами по уровню крупноплодности бывают довольно значительными (Rodyukova, 2007).

Анализ механического состава ягод 41 сорта черной смородины, проведенный в условиях Северо-Запада России, позволил выявить существенные различия между ними по исследуемым параметрам.

В таблице 1 приведены данные механического анализа ягод изученных сортов. Сорта в таблице ранжированы по степени убывания показателя «средняя масса ягоды».

Таблица 1. Механический состав ягод черной смородины
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Table 1. Mechanical composition of black currant berries
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Масса ягоды, г m±x	Масса крупных ягод, г m±x	Диаметр ягоды, см m±x	Количество семян в ягоде, шт. m±x
44170	Black Magic	1,86±0,04	2,60±0,05	1,37±0,03	56±4,2
45543	Лучия	1,65±0,17	2,18±0,14	1,35±0,05	45±9,5
40673	Мила	1,64±0,19	1,99±0,25	1,33±0,03	40±2,1
41984	Загляденье	1,61±0,04	2,07±0,09	1,37±0,03	37±2,0
42515	Добрыня	1,61±0,20	2,01±0,31	1,42±0,10	27±7,4
40670	Поклон Борисовой	1,36±0,18	1,99±0,36	1,30±0,05	40±1,0
41435	Ben Sarek	1,34±0,17	1,75±0,29	1,35±0,05	33±2,8
40677	Гармония	1,32±0,09	2,10±0,30	1,35±0,05	24±3,5

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

№ по каталогу ВИР	Сорт	Масса ягоды, г m±x	Масса крупных ягод, г m±x	Диаметр ягоды, см m±x	Количество семян в ягоде, шт. m±x
43124	Joninai	1,29±0,02	1,99±0,09	1,27±0,03	36±1,3
33999	Петербурженка (К)	1,20±0,02	1,53±0,15	1,25±0,05	43±7,5
13476А	Русалка	1,20±0,13	1,72±0,14	1,15±0,05	15±0,5
32650	Фотогеничная	1,17±0,10	1,62±0,13	1,23±0,03	34±0,3
40675	Шаровидная	1,17±0,15	1,56±0,14	1,27±0,03	22±3,7
41988	Шалунья	1,15±0,03	1,58±0,10	1,27±0,03	35±1,5
42517	Kriviai	1,13±0,11	1,61±0,19	1,30±0,05	46±1,9
45533	Дачница	1,13±0,17	1,57±0,23	1,20±0,06	25±2,0
42233	Ben Loyal	1,13±0,17	1,44±0,19	1,23±0,07	16±1,0
42523	Bona	1,11±0,06	1,68±0,20	1,20±0,10	17±2,5
40607	Перун	1,09±0,15	1,71±0,15	1,20±0,06	30±3,5
41972	Василиса	1,09±0,22	1,35±0,24	1,25±0,05	39±2,0
35812	Июньская Кондрашовой	1,08±0,08	1,58±0,15	1,22±0,06	17±4,5
40671	Рита	1,05±0,08	1,48±0,02	1,25±0,05	38±12
41985	Кипиана	1,02±0,11	1,41±0,14	1,17±0,04	36±1,5
43122	Экстрим	0,99±0,15	1,43±0,18	1,13±0,09	23±2,1
32624	Голубичка	0,98±0,01	1,21±0,20	1,20±0,10	40±2,3
43121	Садко	0,97±0,06	1,73±0,34	1,20±0,06	38±2,9
42529	Подарок Куминову	0,97±0,14	1,36±0,21	1,17±0,03	39±1,3
40603	Изюмная	0,96±0,14	1,47±0,14	1,20±0,01	19±4,3
42117	Марго	0,96±0,09	1,31±0,15	1,16±0,06	40±3,2
40475	Hedda	0,96±0,15	1,27±0,18	1,25±0,05	48±4,8
40681	Журавушка	0,95±0,11	1,34±0,28	1,17±0,07	26±4,9
41593	Ben Hope	0,94±0,03	1,28±0,05	1,23±0,03	37±0,3
42473	Глариоза	0,93±0,08	1,32±0,15	1,13±0,03	38±6,0
42516	Думушка	0,90±0,03	1,20±0,08	1,13±0,03	39±5,2
40678	Алтаянка	0,89±0,12	1,30±0,20	1,16±0,04	32±9,0
43123	Intercontinental	0,89±0,15	1,37±0,23	1,17±0,06	36±4,1
43120	Снежная королева	0,84±0,08	1,15±0,12	1,10±0,06	19±1,9
43119	Изумрудное ожерелье	0,83±0,15	1,23±0,27	1,13±0,07	21±2,9
36686	Champion	0,60±0,03	0,90±0,01	1,00±0,01	18±2,5
42509	Fat	0,60±0,05	0,83±0,07	1,02±0,04	38±1,8
45522	Ben Alder	0,54±0,12	0,76±0,14	0,97±0,07	6±2,5
	$НСР_{05}$	**0,63**	**0,89**	**0,22**	**16,9**
	Min	0,54	0,76	0,97	6
	Max	1,86	2,60	1,40	56

Как показали исследования, диапазон варьирования массы ягоды был достаточно широким – 0,54–1,86 г (см. табл. 1).

В соответствии с величиной плода изученные сорта дифференцированы на четыре группы: I – очень крупноплодные (с массой ягоды > 1,5 г); II – крупноплодные (1,01–1,5 г); III – сорта со средней массой ягоды (0,7–1,0 г); IV – мелкоплодные (0,51–0,7 г) (рис. 1).

более крупных ягод этих сортов находилась в пределах 1,20 г (‘Думушка’) – 1,73 г (‘Садко’).

Мелкоплодность в условиях Северо-Запада России была присуща зарубежным сортам ‘Fat’ (Украина), ‘Champion’ (США) и ‘Ben Alder’ (Шотландия). Величина наиболее крупных ягод этих сортов была незначительной и находилась в пределах 0,76 г (‘Ben Alder’) – 0,90 г (‘Champion’).

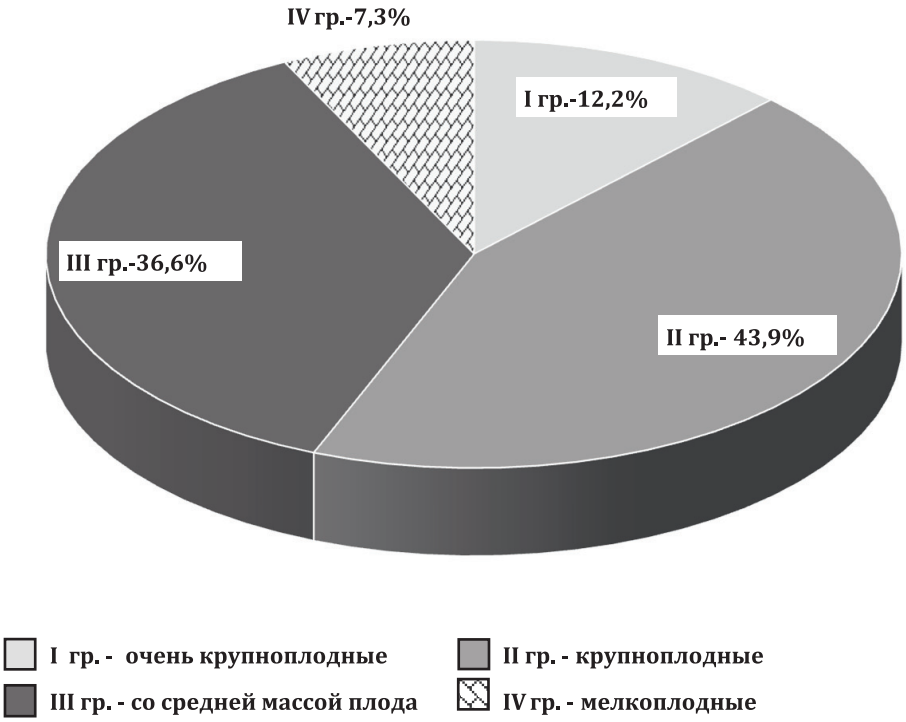


Рис. 1. Распределение сортов черной смородины на группы в зависимости от средней массы ягоды
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Fig. 1. Distribution of black currant cultivars into groups depending on their mean fruit weight
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

Очень крупные по массе ягоды были у 12,2% изученных сортов (см. рис. 1). В эту группу (I) объединены сорта с максимальными значениями средней массы плода – 1,53–1,86 г. В нее вошли сорта ‘Лучия’ (рис. 2a), ‘Black Magic’ (рис. 2b), ‘Мила’, ‘Загляденье’, ‘Добрыня’ (рис. 2c). По отношению к контрольному сорту ‘Петербурженка’ средняя масса ягоды этих сортов составила 127,5–155,0%. Они характеризовались и самой значительной величиной наиболее крупных ягод: 1,99 г (‘Мила’) – 2,6 г (‘Black Magic’) (см. табл. 1).

Доля крупноплодных сортов (II гр.) составила 43,9% (см. рис. 1). Эта группа образована сортами ‘Поклон Борисовой’, ‘Гармония’, ‘Шаровидная’, ‘Рита’, (НИИСС им. М.А. Лисавенко, г. Барнаул); ‘Дачница’, ‘Кипиана’ (ВНИИСПК, г. Орел), ‘Joninai (рис. 2d), ‘Kriviai’ (Литва), ‘Ben Sarek’ (Шотландия) и др. (см. табл. 1). Средняя величина наиболее крупных ягод представителей этой группы составила 1,35 г (‘Василиса’) – 2,10 г (‘Гармония’).

Довольно многочисленной (36,6%) оказалась III группа, объединяющая сорта со средней массой плода. В нее вошли зеленоплодные сорта ‘Снежная королева’ (рис. 3) и ‘Изумрудное ожерелье’ (ФНЦ им. И.В. Мичурина), зарубежные сорта ‘Intercontinental’ (Швеция), ‘Ben Hope’ (Шотландия), ‘Hedda’ (Швеция) и др. Средняя масса наи-

Диапазон изменчивости массы ягоды по годам был различным в зависимости от сорта. Наибольшая стабильность (V = 2,0–9,8%) была характерна для 32,5% изученных сортов, отнесенных по степени крупноплодности к разным группам. Так, стабильные значения показателя имели очень крупноплодные сорта ‘Black Magic’, ‘Загляденье’, ‘Гармония’, ‘Joninai’; крупноплодные – ‘Шалунья’, ‘Рита’, ‘Bona’, ‘Голубичка’ и ‘Садко’; среднеплодные сорта ‘Ben Hope’ и ‘Думушка’. Стабильную массу ягоды по годам имел и мелкоплодный сорт ‘Champion’ (V = 6,7%).

Средняя вариабельность показателя (V = 11,7–18,6%) отмечена у 30% изученных сортов. Среди них очень крупноплодные сорта ‘Лучия’ и ‘Мила’, крупноплодные – ‘Русалка’, ‘Фотогеничная’, ‘Kriviai’, ‘Кипиана’ и др.; сорта, имеющие среднюю массу ягоды – ‘Глариоза’ и ‘Снежная королева’, а также мелкоплодный сорт ‘Fat’.

Наибольшая изменчивость массы ягоды по годам (V = 21,6–32,5%) наблюдалась у 37,5% изученных сортов, в т. ч. у очень крупноплодного сорта ‘Добрыня’; ряда крупноплодных сортов (II гр.) – ‘Шаровидная’, ‘Поклон Борисовой’, ‘Дачница’, ‘Ben Sarek’ ‘Ben Loyal’, ‘Перун’, ‘Василиса’ и сортов со средней массой плода

a) Лучия b) Black Magic

c) Добрыня d) Joninai

Рис. 2. Ягоды крупноплодных сортов черной смородины
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Fig. 2. Berries of large-fruited black currant cultivars
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

Рис. 3. Зеленоплодный сорт черной смородины ‘Снежная королева’
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Fig. 3. Green-fruited black currant cultivar ‘Snezhnaya koroleva’
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

(III гр.) – ‘Алтаянка’, ‘Экстрим’, ‘Подарок Куминову’, ‘Изюмная’, ‘Hedda’, ‘Изумрудное ожерелье’.

Как показали исследования, наиболее крупная масса ягоды в среднем по всем изученным сортам отмечена в 2013 г. (рис. 4). Это же подтверждают и данные, приведенные на рисунке 5, из которого следует, что практически у всех сортов, за редким исключением, наиболее крупные плоды завязались в 2013 г.; наименьшая масса ягоды сформировалась в 2014 г. Лишь у единичного числа сортов (‘Ben Sarek’, ‘Joninai, ‘Kriviai’, ‘Изюмная’, ‘Думушка’) наблюдалось незначительное (на 0,11–0,25 г) увеличение массы ягоды в 2015 г. (см. рис. 5).

Величина наиболее крупных ягод по всем изученным сортам превышала значения средней массы ягоды на 0,22–0,78 г, или в среднем на 0,44 г (см. табл. 1). Диапазон изменчивости данного показателя варьировал от 0,76 г (‘Ben Alder’) до 2,60 г (‘Black Magic’). Стабильные значения признака (V = 1,9–8,5) наблюдались лишь у пяти сортов – ‘Black Magic’, ‘Загляденье’, ‘Joninai’, ‘Рита’ и ‘Ben Hope’. Средняя изменчивость указанной величины была характерна для 41,6% изученных сортов – ‘Лучия’, ‘Петербурженка (К)’, ‘Шаровидная’. ‘Шалунья’, ‘Кипиана’, ‘Изюмная’ и др. Значительная изменчивость показателя отмечена у остальных 46,2 % сортов.

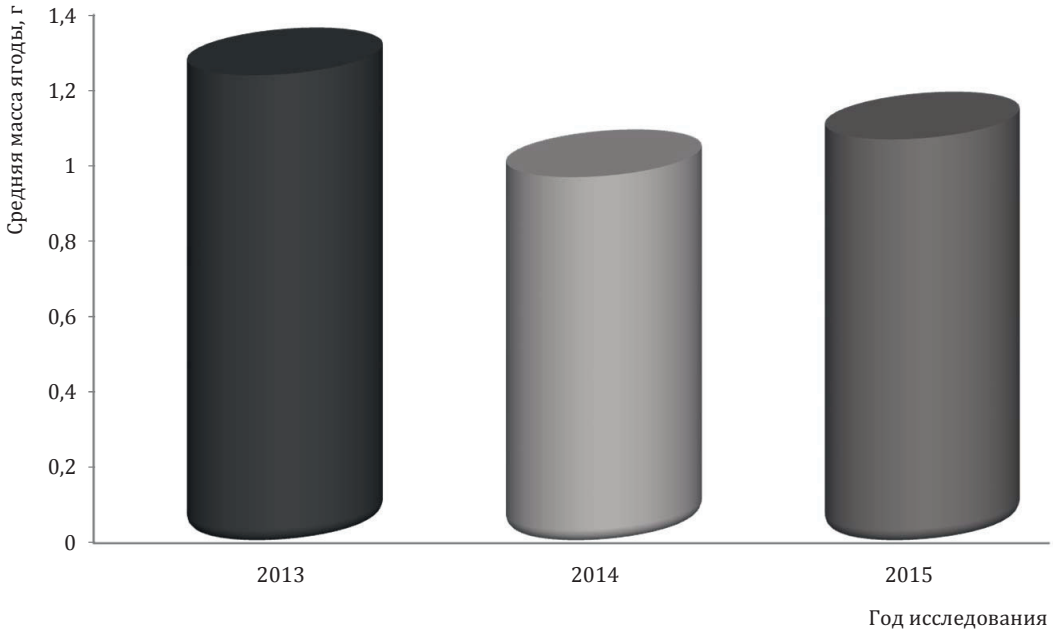


Рис. 4. Масса ягоды в среднем по всем изученным сортам черной смородины
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.

Fig. 4. Mean fruit weight for all studied black currant cultivars
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

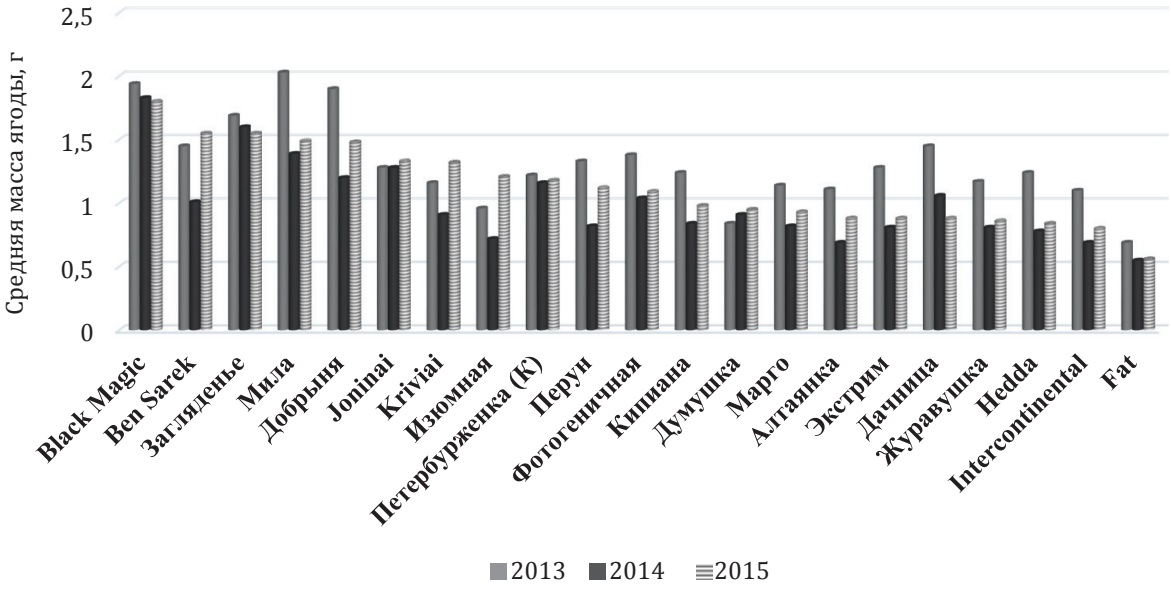


Рис. 5. Изменчивость средней массы ягоды сортов черной смородины по годам
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Fig. 5. Variability of mean fruit weight in black currant cultivars by years
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

Диаметр ягоды в зависимости от сорта составил 1,0 (‘Champion’) – 1,42 см (‘Добрыня’) (см. табл. 1). Сорта с наибольшей массой ягоды характеризовались и большим ее размером. Практически все сорта имели стабильные значения показателя (V = 4,4–10,0%), лишь у двух (‘Журавушка’ и ‘Экстрим’) вариабельность диаметра ягоды имела средние значения и составила 10,3% и 13,3% соответственно. Между величинами масса/диаметр ягоды существует высокая положительная корреляция – r = 0,92. В пределах каждого отдельно взятого сорта коэффициент корреляции (r) варьирует от 0,61 (‘Подарок Куминову’) до 0,99 (‘Black Magic’).

Количество семян в ягоде колебалось от 6 до 56 штук (см. табл. 1). Большое количество семян было характерно лишь для очень крупноплодного сорта ‘Black Magic’ (56 шт.). Другие очень крупноплодные (‘Добрыня’, ‘Загляденье’) и крупноплодные сорта (‘Ben Sarek’, ‘Joninai’, ‘Гармония’, ‘Фотогеничная’, ‘Kriviai’, ‘Шалунья’ и др.) содержали среднее количество (24–46 шт.) семян в ягоде, практически такое же, как и у сортов со средней массой плода. Небольшое число семян (15–25 шт.) было в ягодах крупноплодных сортов ‘Русалка’, ‘Bona’, ‘Дачница’, ‘Шаровидная’, ‘Июньская Кондрашовой’ и ‘Ben Loyal’. В ягодах мелкоплодного сорта ‘Fat’, напротив, содержалось количество семян, характерное для ряда крупноплодных сортов (см. табл. 1).

Высокая стабильность показателя (V ⩽10%) наблюдалась у 35% изученных сортов. Среди них ‘Мила’, ‘Загляденье’, ‘Joninai’, ‘Kriviai’, ‘Ben Hope’, ‘Кипиана’ и др. Средняя степень вариабельности (V = 12,9–19,5 %) была присуща сортам ‘Black Magic’, ‘Ben Sarek’, ‘Hedda’, ‘Champion’, ‘Дачница’, ‘Экстрим’ и ‘Марго’. Сильное варьирование семенной продуктивности (V = 23,1–42,9%) наблюдалось у 47,5% изученных сортов.

Между массой ягоды и количеством семян существует положительная высокая взаимосвязь. В среднем по всем изученным сортам коэффициент корреляции составил r = 0,74; внутрисортовая взаимозависимость этих величин находилась в пределах 0,47 (‘Hedda’) – 0,9 (‘Дачница’).

Одним из важных компонентов продуктивности является длина кисти. Увеличение этого показателя только на одну ягоду (массой 0,9–1,0 г) дает более тонны прибавки урожая на 1 га (Knyazev, Ogol’tsova, 2004; Shavyrkina, Knyazev, 2014).

В таблице 2 приведена морфометрическая характеристика сортов по длине кисти и количеству цветков и ягод в ней. Сорта в таблице расположены по степени убывания показателя «длина кисти».

Таблица 2. Морфометрическая характеристика сортов черной смородины (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Table 2. Morphometric characteristics of black currant cultivars (Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Длина кисти, см m±x (min–max)	Количество цветков в кисти, шт. m±x (min–max)	Количество ягод в кисти, шт., m±x (min–max)
40678	Алтаянка	8,2±0,5(6,0-10,2)	10±0,1 (9–12)	9±0,3 (6–11)
41593	Ben Hope	6,9±0,4 (6,1–7,4)	10±0,3 (5–13)	8±0,7 (5–11)
42509	Fat	6,8±0,5 (6,1–7,8)	8±0,9 (6–13)	8±0,7 (5–13)
36686	Champion	6,6±0,1 (6,3–6,6)	9±0,1 (6–11)	8±0,5 (5–11)
42529	Подарок Куминову	6,4±0,2 (6,2–6,6)	10±0,5 (5–12)	7±0,1 (4–11)
40677	Гармония	6,3±0,7 (5,6–6,9)	10±2,0 (5–14)	8±2,0 (5–12)
42515	Добрыня	6,2±0,7 (5,5–7,5)	7±0,6 (5–12)	6±0,3 (5–12)
41984	Загляденье	6,2±1,3 (3,6–8,0)	7±1,2 (5–12)	6±1,2 (4–11)
42517	Kriviai	6,2±0,5 (5,6–7,2)	9±0,7 (7–13)	8±0,7 (5–12)
13476A	Русалка	6,2±1,2 (5,0–7,3)	8±1,0 (5–14)	7±0,5 (4–10)
40603	Изюмная	5,8±0,8 (4,3–6,8)	9±1,0 (5–12)	8±0,9 (5–12)
42516	Думушка	5,8±0,6 (4,7–6,9)	9±0,9 (6–13)	7±0,6 (6–10)
40681	Журавушка	5,7±0,9 (4,0–6,9)	8±1,2 (4–13)	7±1,3 (3–10)
40670	Поклон Борисовой	5,7±1,1 (3,5–6,9)	9±1,8 (5–13)	8±1,5 (4–12)
40607	Перун	5,6±0,3 (5,1–6,0)	8±0,7 (6–11)	7±0,6 (5–10)
32650	Фотогеничная	5,4±0,7 (4,2–6,6)	7±0,6 (4–9)	6±0,6 (3–9)
32624	Голубичка	5,4±0,5 (4,9–6,5)	9±0,7 (5–12)	8±0,6 (4–11)

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

№ по каталогу ВИР	Сорт	Длина кисти, см m±x (min–max)	Количество цветков в кисти, шт. m±x (min–max)	Количество ягод в кисти, шт., m±x (min–max)
42473	Глариоза	5,4±1,0 (3,4–7,1)	9±0,9 (5–13)	7±0,7 (4–13)
41985	Кипиана	5,3±0,7 (3,9–6,4)	8±0,3 (5–10)	7±0,3 (4–9)
43120	Снежная королева	5,4±0,4 (4,8–6,2)	9±0,7 (7–13)	8±0,6 (4–11)
43119	Изумрудное ожерелье	5,4±0,9 (3,9–6,4)	9±0,7 (7–12)	8±0,7 (5–12)
40671	Рита	5,3±0,6 (4,7–5,9)	10±0,5 (7–12)	9±0,5 (5–11)
40673	Мила	5,1±0,5 (4,3–6,1)	10±1,3 (7–16)	8±1,5 (4–13)
44170	Black Magic	5,1±0,5 (4,2–5,8)	8±0,3 (4–10)	6±0,1 (3–12)
41972	Василиса	5,1±0,9 (4,2–6,0)	7±0,5 (5–9)	6±0,5 (4–9)
43123	Intercontinental	4,9±0,9 (3,1–5,9)	8±1,0 (5–13)	8±0,9 (3–12)
33999	Петербурженка (К)	4,9±0,6 (4,3–5,4)	7±0,5 (5–8)	5±0,1 (4–9)
41435	Ben Sarek	4,8±0,3 (4,9–5,3)	6±0,6 (4–9)	5±0,6 (3–7)
43121	Садко	4,7±0,5 (3,9–5,5)	9±0,3 (6–11)	7±0,3 (3–10)
45543	Лучия	4,6±0,6 (3,4–5,5)	6±0,9 (4–9)	5±0,9 (4–11)
42117	Марго	4,6±0,3 (4,2–5,1)	7±0,7 (4–9)	6±0,3 (3–8)
40675	Шаровидная	4,4±0,6 (3,5–5,6)	7±0,9 (4–10)	6±0,6 (4–10)
40475	Hedda	4,3±0,9 (2,6–5,7)	7±0,9 (3–10)	5±0,7 (2–8)
41988	Шалунья	3,9±0,3 (3,3–4,3)	7±0,6 (4–10)	5±0,6 (3–8)
45533	Дачница	3,9±0,5 (3,1–4,7)	6±0,7 (4–9)	4±0,9 (3–9)
42523	Bona	3,9±0,7 (3,2–4,5)	8±1,0 (3–11)	7±1,5 (3–10)
35812	Июньская Кондрашовой	3,7±0,2 (3,4–4,1)	5±0,6 (3–7)	4±0,3 (2–8)
45522	Ben Alder	3,7±0,8 (2,9–4,5)	7±1,0 (4–11)	5±1,5 (2–8)
43122	Экстрим	3,6±0,6 (2,9–4,8)	6±0,6 (3–10)	5±0,6 (4–9)
43124	Joninai	3,4±0,9 (1,9–5,2)	6±0,6 (4–12)	5±0,1 (4–10)
42233	Ben Loyal	2,9±0,6 (1,8–3,8)	5±0,6 (3–7)	5±0,3 (3–7)
	$НСР_{05}$	**3,1**	**2,6**	**3,4**

Как следует из таблицы 2, длина кисти исследуемых сортов варьирует от 2,9 см до 8,2 см.

Согласно методическим указаниям (Program..., 1999), к числу длиннокистных можно отнести только один сорт – ‘Алтаянка’, длина кисти которого составила в среднем 8,2 см.

Подавляющее большинство изученных сортов (57,5%) имели кисти средней длины – 5,1–6,9 см. При этом стабильные значения признака (V = 1,1–8,4%) отмечены лишь у трех из них – ‘Champion’ (рис. 6, 1), ‘Подарок Куминову’ и ‘Перун’. Средняя вариабельность параметра (V = 10,9–18,9%) наблюдалась у 50 сортов, имеющих среднюю длину кисти. Среди них сорта ‘Гармония’, ‘Думушка’, ‘Добрыня’, ‘Голубичка’, ‘Рита’, ‘Мила’ и др. Значительной изменчивостью признака (V = 24,2–36,8%) характеризовались 37,5% сортов. Это сорта ‘Заглядене’, ‘Русалка’ (рис. 6, 2), ‘Журавушка’, ‘Поклон Борисовой’, ‘Кипиана’ и др.

Короткие кисти (3,4–4,9 см) были у 37,5% изученных сортов. Из них только у сортов ‘Марго’ и ‘Июньская Кондрашовой’ длина кисти в зависимости от условий года менялась незначительно (V ⍰ 10%). Средняя изменчивость признака наблюдалась у сортов ‘Петербурженка’ (К), ‘Ben Sarek’, ‘Садко’ и ‘Шалунья’. У остальных

Рис. 6. Кисти сортов черной смородины: 1 – ‘Champion’, 2 – ‘Русалка’
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Fig. 6. Bunches of black currant cultivars: 1 – ‘Champion’; 2 – ‘Rusalka’
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

девяти сортов из этой группы – ‘Joninai’ (см. рис. 2, d), ‘Intercontinental’, ‘Hedda’, ‘Bona’, ‘Ben Alder’ и др. – изменчивость длины кисти была высокой (V = 23,5–37,2%).

Очень короткие кисти (2,9 см), длина которых характеризовалась значительной вариабельностью в зависимости от условий года, были у шотландского сорта ‘Ben Loyal’.

Длина кисти в среднем по всем изученным сортам в разные годы исследований представлена на рисунке 7, из которого следует, что наиболее короткие кисти сформировались в 2014 г. В 2013 и 2015 г. средние показатели по всей группе изученных сортов различались незначительно.

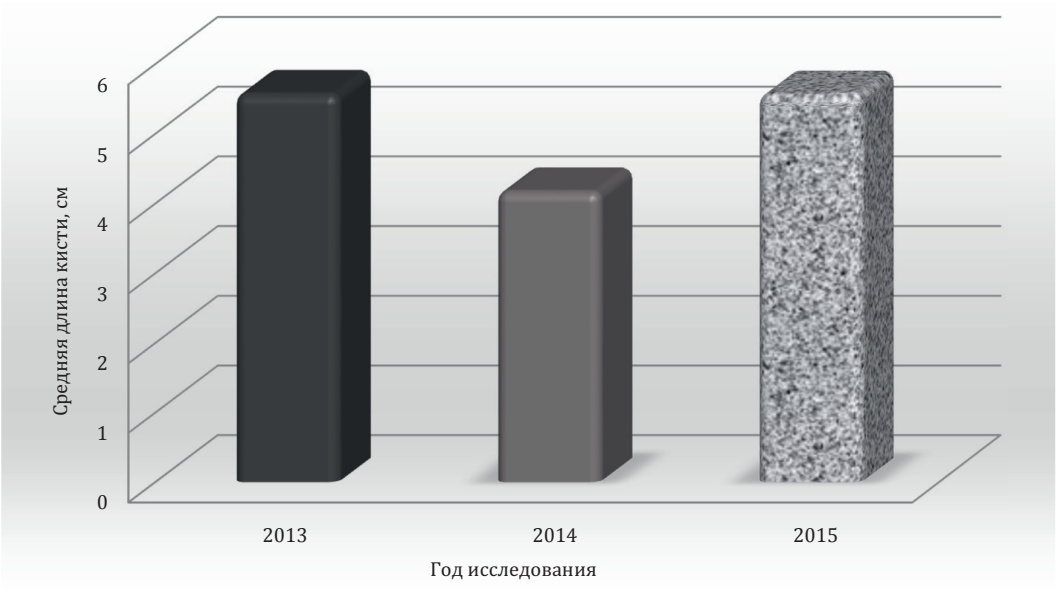


Рис. 7. Длина кисти в среднем по всем изученным сортам черной смородины в годы исследования (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.)

Fig. 7. Mean bunch length for all studied black currant cultivars in the years of research
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015)

На рисунке 8 показано изменение длины кисти у ряда сортов в разные годы изучения. В 2013 г. длина кисти была больше по сравнению с двумя другими годами исследований у 52,6% сортов. В 2015 г. увеличение длины кисти на 0,2–1,6 см наблюдалось у 34,2% изученных сортов.

У изученных нами сортов среднее количество ягод в кисти варьировало от 4 (‘Дачница’, ‘Июньская Кондрашовой’) до 9 (‘Алтаянка’, ‘Рита’). По 5 ягод содержали кисти сортов ‘Петербурженка’ (К), ‘Ben Sarek’, ‘Лучия’, ‘Hedda’, ‘Шалунья’, ‘Ben Alder’, ‘Экстрим’, ‘Joninai’ и ‘Ben Loyal’. Основная масса сортов имела кисти с 6–9

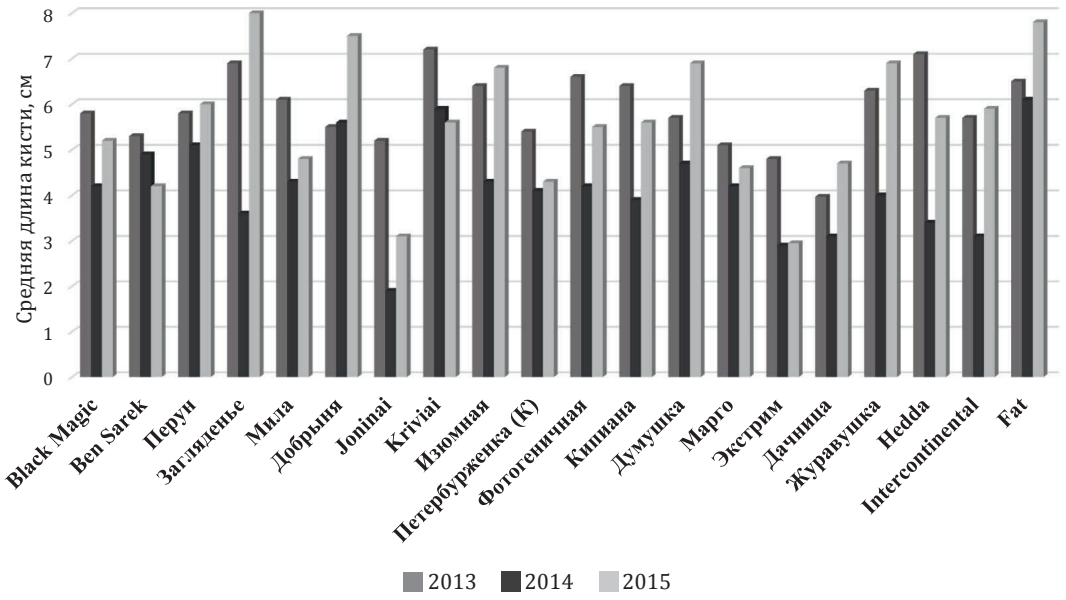


Рис. 8. Изменчивость длины кисти сортов черной смородины
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2013–2015 гг.).

Fig. 8. Variability of bunch length in black currant cultivars
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2013–2015).

Средние значения показателя «количество цветков в кисти» варьировали в зависимости от сорта от 5 до 10 (см. табл. 2). Максимальное проявление признака (13–14 цветков в кисти) в разные годы исследований наблюдалось у сортов ‘Ben Hope’, ‘Fat’, ‘Гармония’, ‘Русалка’, ‘Думушка’, ‘Журавушка’, ‘Поклон Борисовой’, ‘Intercontinental’. Кисти сорта ‘Мила’ в 2013 г. насчитывали 14–16 цветков. В 2015 г. многоцветковые кисти, содержащие 9–14 цветков, были у сортов ‘Гармония’, ‘Журавушка’, ‘Изумрудное ожерелье’ и ‘Ben Hope’.

Стабильные значения показателя отмечены у 17,9% изученных сортов. Среди них сорта ‘Ben Hope’, ‘Рита’ и ‘Подарок Куминову’, кисти которых содержали в среднем по 10 цветков, а также сорта ‘Кипиана’, ‘Black Magic’, ‘Василиса’ и ‘Садко’, характеризующиеся наличием 7–9 цветков в кисти. У подавляющего большинства сортов (59%) вариабельность признака была средней (V = 10,8–20,0%). Значительный размах изменчивости количества цветков в кисти (21,6–33,9%) наблюдался у 23,1% сортов, в том числе у многоцветковых сортов ‘Гармония’ и ‘Мила’.

Выявлены корреляционные отношения между длиной кисти и количеством цветков в ней (r = 0,65). В зависимости от сорта коэффициент корреляции составил 0,4 (‘Рита’) – 0,81 (‘Ben Hope’). Между длиной кисти и массой ягоды существует несущественная отрицательная зависимость (r = –0,1).

Одним из важных компонентов продуктивности является количество ягод в кисти. Помимо генетической обусловленности, этот показатель зависит от уровня самоплодности, агротехнического фона и погодных условий до и после цветения (Knyazev, Ogol’tsova 2004; Sazonov, Podgaetsky, 2011).

ягодами (см. табл. 2). Максимальная выраженность признака в отдельные годы (12–13 ягод в кисти) наблюдалась у сортов ‘Fat’, ‘Гармония’, ‘Добрыня’, ‘Kriviai’, ‘Мила’, ‘Изюмная’, ‘Поклон Борисовой’, ‘Голубичка’. При этом стабильность показателя была характерна для 22,5% сортов – ‘Champion’, ‘Black Magic’, ‘Подарок Куминову’, ‘Добрыня’, ‘Кипиана’, ‘Рита’, ‘Марго’ и др. Средней изменчивостью признака характеризовалось 52,5% сортов – ‘Intercontinental’, ‘Joninai’, ‘Ben Hope’, ‘Ben Sarek’, ‘Kriviai’, ‘Русалочка’, ‘Думушка’, ‘Шалунья’, ‘Июньская Кондрашовой’ и др. Значительная вариабельность количества ягод в кисти отмечена у 25% изученных сортов, в том числе у сортов ‘Гармония’, ‘Мила’, ‘Журавушка’, ‘Поклон Борисовой’, ‘Дачница’ и др.

Между длиной кисти и количеством ягод выявлена положительная корреляция (r = 0,52); внутрисортовая зависимость этих величин может достигать значений 0,33 (‘Hedda’) – 0,84 (‘Ben Hope’).

Заключение

Проведенное исследование отдельных морфоструктурных компонентов продуктивности позволило выделить сорта с максимальным проявлением признаков.

Наиболее крупноплодны в условиях Северо-Запада России сорта ‘Black Magic’ (к-44170), ‘Лучия’ (к-45543), ‘Мила’ (к-40673), ‘Загляденье’ (к-41984), ‘Гармония’ (к-40677), Добрыня’ (к-42121), ‘Ben Sarek’ (к-41435).

Наибольшую крупноплодность и стабильность массы ягоды по годам имеют сорта ‘Black Magic’ (к-44170), ‘Гармония’ (к-40677), ‘Joninai’ (к-43124), ‘Шалунья’ (к-41988).

По 8–9 ягод в кисти формируют сорта ‘Алтаянка’ (к-40678), ‘Ben Hope’ (к-41193), ‘Fat’ (к-42509), ‘Гармония’

(к-40677), 'Kriviai' (к-42517), 'Изюмная' (к-40603), 'Поклон Борисовой' (к-40670), 'Голубичка' (к-42514), 'Снежная королева' (к-43120), 'Изумрудное ожерелье' (к-43119), 'Рита' (к-40671), 'Мила' (к-40673), 'Intercontinental' (к-43123).

Лучшими сортами по сочетанию изученных признаков, пригодными для промышленного возделывания и любительского садоводства в Северо-Западном регионе России, являются: 'Гармония' (к-40677), 'Kriviai' (к-42517), 'Ben Sarek' (к-41435), 'Joninai' (к-43124), 'Журавушка' (к-40681), 'Шалунья' (к-41988).

Выявлены взаимосвязи между отдельными морфоструктурными компонентами продуктивности: масса ягоды – диаметр ягоды (r = 0,92); масса ягоды – количество семян (r = 0,74); длина кисти – количество цветков в кисти (r = 0,65); длина кисти – количество ягод в кисти (r = 0,52).

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».

References/Литература

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

Knyazev C.D., Ogoltsova T.P. Black currant breeding at the present stage. (Selektsiya chernoy smorodiny na sovremennom etape). Orel: OrelGAU; 2004) [in Russian] (Князев С.Д., Огольцова Т.П. Селекция черной смородины на современном этапе. Орел: ОрелГАУ; 2004).

Program and methods for studying varieties of fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Michurinsk: VNIIS; 1973. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Мичуринск: ВНИИС. 1973).

Program and methods for studying varieties of 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. Орел: ВНИИСПК; 1999).

Rodyukova O.S. Results of the study of black currant varieties in the environments of the Central Black-Soil Zone (Resultaty sortoizucheniya smorodiny chernoy v usloviyakh TsChZ). In: *The Current State of Cultivated Currants and Gooseberries.* Michurinsk – Naukograd RF; 2007. p.149-163. [in Russian] (Родюкова О.С. Результаты сортоизучения смородины черной в условиях ЦЧЗ. *Современное состояние культур смородины и крыжовника*. Мичуринск – Наукоград РФ; 2000. С.149-163).

Sazonov F.F., Podgaetsky M.F. Productivity potential in initial forms and hybrids of black currant (Potentsial produktivnosti iskhodnykh form i gibridov smorodiny chernoy). *Vestnik OrelGAU*. 2011;3(30):32-35. [in Russian] (Сазонов Ф.Ф., Подгаецкий М.Ф. Потенциал продуктивности исходных форм и гибридов смородины черной. *Вестник ОрелГАУ*. 2011;3(30):32-35).

Shavyrkina M.A., Knyazev S.D. Productivity evaluation of promising black currant selections and cultivars of VNIISPK breeding. *Contemporary Horticulture*. 2014;3(11):40-45. [in Russian] (Шавыркина М.А., Князев С.Д. Оценка продуктивности перспективных форм и сортов смородины черной селекции ВНИИСПК. *Современное садоводство*. 2014;3(11):40-45).

Shirko T.S., Radyuk A.F., Bachilo A.I., Maximenko M.G. The quality of berries of the black currant varieties in the collection of the Belorussian Research Institute for Fruit Growing. *Fruit-Growing*. 1993;8:158-180. [in Russian]. (Ширко Т.С., Радюк А.Ф., Бачило А.И., Максименко М.Г. Качество ягод черной смородины сортов коллекции БНИИП. *Плодоводство*. 1993;8:158-180).

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

Тихонова О.А. Отдельные морфоструктурные компоненты продуктивности сортов черной смородины. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):53-63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-53-63

Tikhonova O.A. Individual morphostructural components of yield in black currant cultivars. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):53-63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-53-63

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/10.30901/2227-8834-2020-1-53-63

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
Tikhonova O.A. https://orcid.org/0000-0002-0319-1477

Полиморфизм сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-64-72
УДК 634.11:631.523.11:632.4
Поступление/Received: 30.12.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Polymorphism of monogenic scab resistance loci in apple varieties

А. С. ЛЫЖИН*, Н. Н. САВЕЛЬЕВА

Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, 393760 Россия, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30
** Ranenburzhetc@yandex.ru*

A. S. LYZHIN*, N. N. SAVEL'EVA

I.V. Michurin Federal Science Center, 30 Michurina St., Michurinsk, Tambov Prov. 393760, Russia
** Ranenburzhetc@yandex.ru*

Актуальность. Моногенная устойчивость к парше – важный селекционный признак яблони. Использование ДНК-маркеров позволяет с высокой надежностью дифференцировать сорта яблони по отдельным детерминантам устойчивости и выявить перспективные генотипы. В представленном исследовании показаны результаты молекулярно-генетического анализа сортов яблони по локусам *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi6*, *Rvi8* моногенной устойчивости к парше. **Материалы и методы.** Объектами исследования являлись сорта яблони различного эколого-географического происхождения. Экстракция геномной ДНК сортов яблони проводилась из молодых листьев согласно протоколу Diversity Arrays Technology P/L (DArT, 2014). Для идентификации гена *Rvi6* использовали STS-маркер VfC и SCAR-маркер AL07, гена *Rvi4* – мультиаллельный SCAR-маркер AD13, генов *Rvi2* и *Rvi8* – SCAR-маркер OPL19. **Результаты и выводы.** Ген *Rvi6* идентифицирован у 54,4% генотипов, из которых 91,9% являются гетерозиготами, а 8,1% (сорта 'Свежесть', 'Freedom', 'GoldRush') – доминантными гомозиготами по этому локусу. Маркер AD13-SCAR выявлен у 25,0% изучаемых форм (предполагаемый генотип по гену устойчивости – *Rvi4Rvi4* или *Rvi4rvi4*). Маркер OPL19-SCAR (гены *Rvi2* и *Rvi8*) присутствует у 73,5% проанализированных форм. У 86,8% генотипов присутствует хотя бы один из изучаемых молекулярных маркеров. Сорта яблони 'Кандиль орловский', 'Красуля', 'Созвездие', 'Galarina', 'Priam', 'Redfree', 'Witos' характеризуются сочетанием в одном генотипе маркеров VfC, AL07-SCAR, AD13-SCAR и OPL19-SCAR (предполагаемый генотип по генам устойчивости – *Rvi2*(*Rvi8*)*Rvi4Rvi6rvi6*). Сорта 'Антоновка зимняя', 'Антоновка красная, 'Беркутовское', 'Гейзер', 'Памяти Нестерова', 'Ренет Симиренко', 'Терентьевка', 'Golden Delicious', 'Telemon' предположительно имеют рецессивный гомозиготный генотип по изучаемым локусам устойчивости.

Ключевые слова: молекулярные маркеры, генотип, амплификация ДНК, гены устойчивости.

Background. Monogenic scab resistance is an important trait of apple, useful to plant breeders. DNA markers provide a possibility to differentiate apple cultivars according to individual resistance determinants with high reliability and identify promising genotypes. The present study shows the results of the molecular genetic analysis of apple varieties, targeted at the *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi6* and *Rvi8* monogenic scab resistance loci. **Materials and methods.** Biological material was represented by apple cultivars of different environmental and geographical origin. Total genomic DNA was extracted from fresh leaves using CTAB methods according to the DArT protocols. The *Rvi6* gene was identified with two markers, VfC (STS) and AL07 (SCAR). The presence of the *Rvi4* gene was detected with the multiallelic SCAR marker AD13. The *Rvi2* and *Rvi8* genes were diagnosed with the SCAR marker OPL19. **Results and conclusion.** The *Rvi6* gene was identified in 54.4% of genotypes, of which 91.9% were heterozygous, and 8.1% (cvs. 'Svezhest', 'Freedom' and 'GoldRush') homozygous dominant for this locus. The marker AD13-SCAR was detected in 25.0% of the studied forms (the putative genotype for the resistance gene is *Rvi4Rvi4* or *Rvi4rvi4*). The marker OPL19-SCAR (*Rvi2* and *Rvi8* genes) was present in 73.5% of the analyzed forms. At least one of the studied molecular markers was present in the genome of 86.8% of genotypes. The apple-tree cultivars 'Kandil Orlovsky', 'Krasulya', 'Sozvezdiye', 'Galarina', 'Priam', 'Redfree' and 'Witos' are characterized by the combination of markers VfC, AL07-SCAR, AD13-SCAR and OPL19-SCAR in one genotype (the putative genotype for the resistance genes is *Rvi2(Rvi8)Rvi4Rvi6rvi6*). Cvs. 'Antonovka zimnyaya', 'Antonovka krasnaya', 'Berkutovskoye', 'Geyzer', 'Pamyati Nesterova', 'Renet Simirenko', 'Terentyevka', 'Golden Delicious', and 'Telemon' presumably have a homozygous recessive genotype for the studied resistance loci.

Key words: molecular markers, genotype, DNA amplification, resistance genes.

Введение

Парша, возбудителем которой является сумчатый гриб *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter, – одно из наиболее вредоносных заболеваний яблони. Потери товарного урожая плодов от поражения насаждений яблони паршой могут достигать 70% (Nasonov, Suprun, 2015). Контроль распространения парши в насаждениях яблони обеспечивается в первую очередь своевременным применением фунгицидов и соблюдением других агротехнических мероприятий (Yakuba, 2013). Кроме того, актуальным направлением борьбы с паршой в насаждениях яблони является использование в производстве сортов с генетически детерминированным иммунитетом к *V. inaequalis*. Возделывание устойчивых к парше генотипов яблони позволит снизить пестицидную нагрузку и улучшить экологическую обстановку в садовом агроценозе.

К настоящему времени у яблони идентифицировано 20 неаллельных генов, детерминирующих устойчивость к различным расам парши, для многих из которых разработаны высокоинформативные ДНК-марке-

ры (Khajuria et al., 2018). В практике наиболее широко используется ген *Rvi6* (V_f). Вместе с тем для сохранения долговременной стабильной устойчивости насаждений яблони к парше желательно объединение в одном генотипе нескольких генетических факторов, контролирующих иммунитет, причем предпочтительно совмещение функционально отличающихся генов устойчивости, как например: *Rvi6* и *Rvi4*; *Rvi6* и *Rvi5*; *Rvi6*, *Rvi4* и *Rvi2* (Bus et al., 2011).

В настоящем исследовании представлены результаты молекулярно-генетического анализа сортов яблони с целью выявления перспективных для дальнейшей селекции источников генов *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi6*, детерминирующих устойчивость к парше.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использованы сорта яблони различного эколого-географического происхождения генетической коллекции ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина» (табл. 1). Контролями служили сорт 'Prima' (носитель гена *Rvi6*) и исходная форма R12740-7A (гены *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi8*).

Экстракция геномной ДНК была проведена из молодых листьев согласно протоколу Diversity Arrays Technology P/L (DArT, 2014).

Для идентификации гена *Rvi6* использовали доминантный внутригенный маркер VfC (Afunian et al., 2004) и кодоминантный маркер AL07-SCAR (Tartarini et al., 1999; Patrascu et al., 2006), гена *Rvi4* – маркер AD13-SCAR (Boudichevskaia et al., 2006), генов *Rvi2* и *Rvi8* – маркер OPL19-SCAR (Bus et al., 2005a, b). Праймеры были синтезированы в ЗАО «Синтол» (Москва) и имели следующую нуклеотидную последовательность:

– маркер VfC: VfC1F 5'-GGTTTCCAAAGTCCAATTCC-3' VfC2R 5'-CGTTAGCATTTTGAGTTGAC-3';

– маркер AL07-SCAR: F 5'-TGGAAGAGAGATCCAGAAAGTG-3' R 5'-CATCCCTCCACAAATGCC-3';

– маркер AD13-SCAR: F 5'-GGTTCCTCTGTAAAGCTAG-3' R 5'-GGTTCCTCTGCCCAACAA-3';

– маркер OPL19-SCAR: F 5'-ACCTGCACTACAATCTTCACTAATC-3' R 5'-GACTCGTTTCCACTGAGGATATTTG-3'.

Таблица 1. Анализируемые сорта яблони

Table 1. The analyzed apple-tree cultivars

№	Сорт / Cultivar	Происхождение, оригинатор / Origin, Originator
1	Анис алый	Народной селекции, Россия
2	Антоновка зимняя	
3	Антоновка каменичка	
4	Антоновка красная	
5	Антоновка обыкновенная	
6	Грушовка московская	
7	Коричное полосатое	
8	Налив желтый	
9	Титовка	
10	Терентьевка	
11	Суйслепское	Народной селекции, страны Балтии
12	Академик Казаков	Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, Россия
13	Благовест	
14	Былина	
15	Гейзер	
16	Готика	
17	Каскад	
18	Красуля	
19	Памяти Нестерова	
20	Скала	
21	Стрела	
22	Успенское	Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, Россия
23	Фрегат	
24	Чародейка	
25	Болотовское	Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Россия

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

№	Сорт / Cultivar	Происхождение, оригинатор / Origin, Originator
26	Зеленый шум	Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Россия
27	Кандиль орловский	
28	Орлик	
29	Поэзия	
30	Приокское	
31	Рождественское	
32	Свежесть	
33	Созвездие	
34	Валюта	Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства
35	Кумир	
36	Малюха	
37	Триумф	
38	Московское ожерелье	Качалкин М.В., Россия
39	Беркутовское	Саратовская опытная станция садоводства, Россия
40	Белорусское сладкое	РУП «Институт плодоводства», Беларусь
41	Дыямант	
42	Имант	
43	Амулет	Украина
44	Полтава	
45	Ренет Симиренко	
46	Ariva	Швейцария
47	Braeburn	Новая Зеландия
48	Gala	
49	Freedom	США
50	Golden Delicious	
51	Golden Resistant	
52	GoldRush	
53	Honey Crisp	
54	Liberty	
55	Prima	
56	Priam	
57	Redfree	
58	Wealthy	
59	Fuji	Япония
60	Galarina	Франция
61	Julia	Чехия
62	Karmen	
63	Topaz	
64	Ligol	Польша
65	Witos	
66	Lobo	Канада
67	Revena	Германия
68	Telemon	Великобритания

Реакционная смесь для ПЦР объемом 15 мкл содержала: 20 нг ДНК, 2,0 мМ dNTPs, 2,5 мМ $MgCI_2$, 10 пМ каждого праймера, 1 ед. Taq-полимеразы и 1,5 мМ 10х стандартного ПЦР-буфера (+$(NH_4)_2SO_4$, –KCL). Все компоненты произведены фирмой Thermo Fisher Scientific.

Амплификацию проводили в термоциклере T100 (BIO-RAD, США) по следующим программам:

– маркер VfC: 94°C – 4 мин, 30 циклов: 94°C – 1 мин, 58°C – 1 мин, 72°C – 1 мин; 72°C – 7 мин;

– маркер AL07-SCAR: 95°C – 10 мин, 35 циклов: 95°C – 30 с, 59°C – 1 мин, 72°C – 2 мин; 72°C – 10 мин;

– маркер AD13-SCAR: 94°C – 2 мин, 30 циклов: 94°C – 1 мин, 58°C – 3 мин, 72°C – 2 мин; 94°C – 1 мин, 58°C – 3 мин, 72°C – 10 мин;

– маркер OPL19-SCAR: 94°C – 2 мин 45 с, 40 циклов: 94°C – 55 с, 55°C – 55 с, 72°C – 1 мин 39 с; 72°C – 10 мин.

Разделение ампликонов осуществляли методом электрофореза в 2-процентном агарозном геле. Для определения длины амплифицированных фрагментов использовали маркер молекулярного веса Gene Ruler 100bp DNA ladder (Thermo scientific) (0,1 мкг/мкл).

Результаты и обсуждение

Большинство известных олигогенов иммунитета яблони к парше впервые идентифицированы у различных дикорастущих видов рода *Malus* Mill., которые послужили донорами моногенной устойчивости при создании иммунных к парше сортов яблони. Источником гена *Rvi6* для селекции служит клоновая форма яблони обильноцветущей – *M. floribunda* 821 (Laurens, 1998), генов *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi8* – форма R12740-7A, являющаяся гибридным сеянцем от свободного опыления семян *M. pumila* Mill. (Bus et al., 2005b).

Ген *Rvi6* (по старой номенклатуре – *Vf*) расположен в группе сцепления 1 в локусе гомологичных рецептор-подобных генов $HcrV_f1$, $HcrV_f2$, $HcrV_f3$, $HcrV_f4$ (Vinatzer et al., 2001). Один из паралогов $HcrV_f$ (предположительно $HcrV_f2$) детерминирует устойчивость к *V. inaequalis* (Afunian et al., 2004; Malnoy et al., 2008; Dunemann et al., 2012).

На основании анализа консервативных последовательностей локуса $HcrV_f$ был разработан внутригенный маркер VfC, позволяющий выявить наличие в генотипе доминантного аллеля гена *Rvi6*. Целевыми продуктами ПЦР с праймерами VfC являются фрагменты размером 286, 484 и 646 пн. Фрагменты размером 646 и 484 пн амплифицируются как у устойчивых, так и у восприимчивых сортов яблони. Фрагмент размером 286 пн сцеплен с доминантным аллелем гена *Rvi6* и характерен только для иммунных к парше по гену *Rvi6* форм (Afunian et al., 2004). Пример идентификации гена *Rvi6* с использованием маркера VfC в анализируемой коллекции сортов яблони представлен на рисунке 1.

Анализ сортов яблони с использованием диагностического маркера VfC выявил доминантный аллель гена *Rvi6* у 37 генотипов из 68 проанализированных (табл. 2). Анализ происхождения данных сортов подтвердил присутствие в родословных источника устойчивости к парше по гену *Rvi6* – *M. floribunda* 821. Сорта народной селекции – 'Антоновка зимняя', 'Антоновка каменичка', 'Антоновка красная', 'Антоновка обыкновенная', 'Аркад красный', 'Грушовка московская', 'Коричное полосатое', 'Мирончик', 'Налив желтый', 'Суйслепское', 'Терентьевка', 'Титовка' – характеризуются рецессивным гомозиготным генотипом по локусу *Rvi6* (*rvi6rvi6*).

Кодоминантный SCAR-маркер AL07 расположен на расстоянии 0,2 cM от гена *Rvi6* (Xu, Korban, 2000). Доминантному аллелю гена *Rvi6* соответствует маркерный фрагмент размером 570 пн, рецессивному – 823 пн. Присутствие обоих фрагментов свидетельствует о гетерозиготном состоянии гена *Rvi6* (Patrascu et al., 2006). В отдельных случаях у форм, гетерозиготных по маркеру AL07-SCAR, может происходить амплификация дополнительного фрагмента, расположенного на электрофореграмме между фрагментами длиной 570 и 823 пн. По мнению некоторых исследователей, данный фрагмент является гетеродуплексом между ампликонами известного размера (Shupert et al., 2004). В проведенных нами ранее исследованиях (Lyzhin, Savel'eva, 2017; 2018) данный фрагмент стабильно воспроизводился и четко визуализировался в условиях эксперимента при анализе как сортов, так и гибридных сеянцев яблони. Пример идентификации гена *Rvi6* с ис-

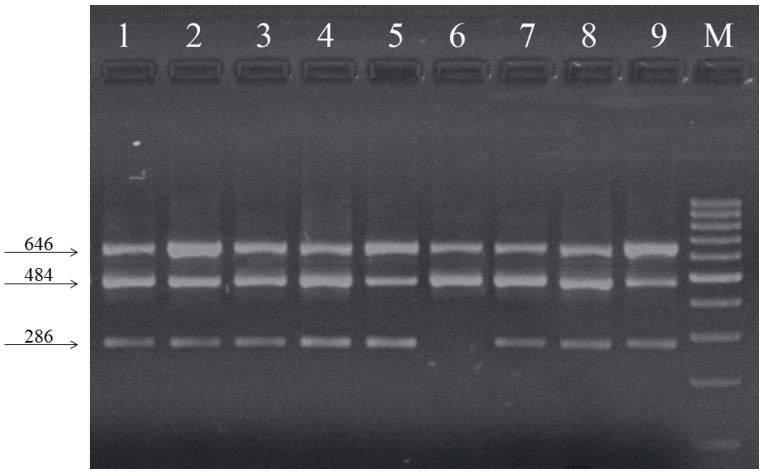


Рис. 1. Электрофореграммы продуктов амплификации ДНК сортов яблони с праймерами VfC:
1 – Prima, 2 – Кандиль орловский, 3 – Имант, 4 – Былина, 5 – Успенское, 6 – Golden Delicious, 7 – Академик Казаков, 8 – Белорусское сладкое, 9 – Валюта, M – маркер молекулярного веса

Fig. 1. DNA amplification profiles generated with primers VfC in apple cultivars:
1 – Prima, 2 – Kandil orlovskiy, 3 – Imant, 4 – Bylina, 5 – Uspenskoye, 6 – Golden Delicious, 7 – Akademik Kazakov, 8 – Belorusskoye sladkoye, 9 – Valyuta, M – molecular weight marker

пользованием маркера AL07-SCAR представлен на рисунке 2.

Установлено, что из 37 сортов с геном *Rvi6* 34 формы гетерозиготны по маркеру AL07-SCAR, что характеризует генотип данных сортов по гену *Rvi6* как гетерозиготный (*Rvi6rvi6*). У сортов 'Свежесть', 'Freedom' и 'Gold-Rush' маркер AL07-SCAR представлен аллелем 570 пн, что свидетельствует о доминантном гомозиготном состоянии гена *Rvi6* (*Rvi6Rvi6*).

Ген *Rvi4* (*Vh4/Vx/Vr1*) картирован в проксимальной части группы сцепления 2. Продукты амплификации с праймерами AD13 на электрофореграмме представлены фрагментами размером 750, 950, 1100 и 1300 пн. Фрагмент 950 пн сцеплен с доминантным аллелем гена *Rvi4*. Фрагменты 750, 1100 и 1300 пн могут амплифицироваться как у устойчивых, так и восприимчивых к парше по гену *Rvi4* генотипов яблони (Boudichevskaia et al., 2006). Пример идентификации гена *Rvi4* с использованием маркера AD13-SCAR представлен на рисунке 3.

С использованием маркера AD13-SCAR было проанализировано 68 сортов яблони, и фрагмент размером 950 пн, сцепленный с доминантным аллелем гена *Rvi4*, идентифицирован у 17 генотипов (25,0%), к числу которых относятся как современные сорта отечественной и зарубежной селекции, так и старинные сорта народной селекции – 'Грушовка московская', 'Титовка' (см. табл. 2.). Происхождение данных сортов народной селекции неизвестно, но предположительно ген *Rvi4* мог быть ими получен от *M. sieversii* (Ledeb.) M. Roem., отдельные экотипы которой характеризуются присутствием в геноме гена *Rvi4* (Savel'ev et al., 2016). В проведенном ранее в Чехии (Patzak et al., 2011) и Беларуси (Urbanovich, Kazlovskaya, 2008) скрининге генетической коллекции яблони (93 и 130 форм) ген *Rvi4* идентифицирован у 32,3% и 26,1% генотипов соответственно.

Гены *Rvi2* (*Vh2*) и *Rvi8* (*Vh8*) локализованы в дистальном районе группы сцепления 2. Маркер OPL19-SCAR был разработан для идентификации в геноме яблони гена

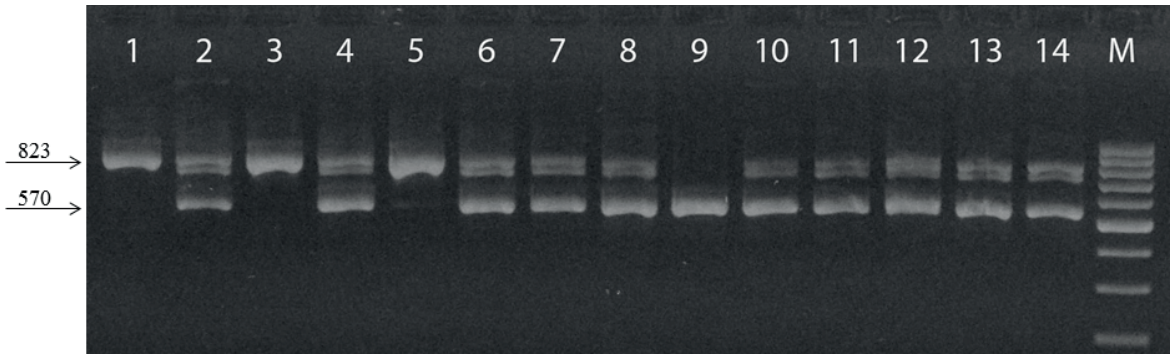


Рис. 2. Электрофореграммы продуктов амплификации ДНК сортов яблони с праймерами AL07-SCAR:
1 – Wealthy, 2 – Golden Resistant, 3 – Орлик, 4 – Амулет, 5 – Полтава, 6 – Ariva, 7 – Revena, 8 – Karmen, 9 – Свежесть, 10 – Болотовское, 11 – Priam, 12 – Liberty, 13 – Julia, 14 – Witos; M – маркер молекулярного веса

Fig. 2. DNA amplification profiles generated with primers AL07-SCAR in apple cultivars:
1 – Wealthy, 2 – Golden Resistant, 3 – Orlik, 4 – Amulet, 5 – Poltava, 6 – Ariva, 7 – Revena, 8 – Karmen, 9 – Svezhest, 10 – Bolotovskoye, 11 – Priam, 12 – Liberty, 13 – Julia, 14 – Witos; M – molecular weight marker

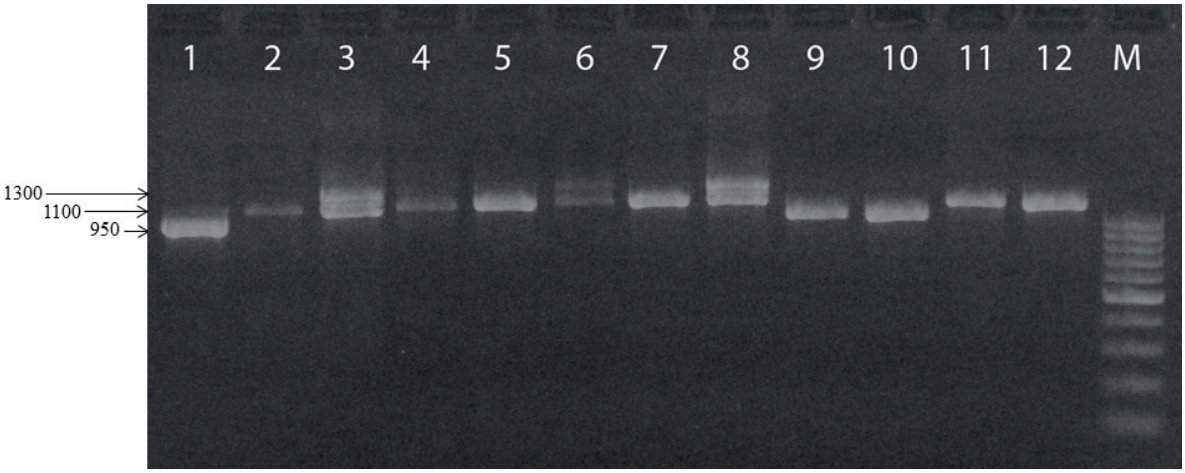


Рис. 3. Электрофореграммы продуктов амплификации ДНК сортов яблони с праймерами AD13-SCAR:
1 – Валюта, 2 – Малюха, 3 – Антоновка зимняя, 4 – Васюган, 5 – Кумир, 6 – Антоновка красная, 7 – Беркутовское, 8 – Триумф, 9 – Поэзия, 10 – Созвездие, 11 – Ренет Симиренко, 12 – Антоновка каменичка; M – маркер молекулярного веса

Fig. 3. DNA amplification profiles generated with primers AD13-SCAR in apple cultivars:
1 – Valuta, 2 – Malyukha, 3 – Antonovka zimnyaya, 4 – Vasyugan, 5 – Kumir, 6 – Antonovka krasnaya, 7 – Berkutovskoye, 8 – Triumf, 9 – Poeziya, 10 – Sozvezdiye, 11 – Renet Simirenko, 12 – Antonovka kamenichka; M – molecular weight marker

Rvi2 (Bus et al., 2005b). Однако впоследствии был выявлен отдельный фактор устойчивости к парше – ген *Rvi8*, расположенный в непосредственной близости от гена *Rvi2*. При этом было установлено, что целевой продукт ПЦР с праймерами OPL19-SCAR – фрагмент 433 пн – амплифицируется как у носителей гена *Rvi2*, так и гена *Rvi8*, демонстрирующих различную степень устойчивости при искусственном заражении отдельными расами парши (Bus et al., 2005b). Таким образом, наличие маркера OPL19-SCAR свидетельствует о присутствии в генотипе доминантных аллелей генов *Rvi2* и (или) *Rvi8*.

Пример электрофоретического спектра маркера OPL19-SCAR изучаемых сортов яблони представлен на рисунке 4.

В анализируемой коллекции сортов яблони маркер OPL19-SCAR выявлен у 50 генотипов, что составляет 73,5% от общего количества форм (см. табл. 2). Маркер OPL19-SCAR отсутствует у сортов 'Антоновка зимняя', 'Антоновка красная', 'Беркутовское', 'Валюта', 'Гейзер', 'Памяти Нестерова', 'Поэзия', 'Приокское', 'Ренет Симиренко', 'Терентьевка', 'Ariva', 'Golden Delicious', 'Golden Resistant', 'GoldRush', 'Julia', 'Karmen', 'Telemon', 'Topaz', что предположительно свидетельствует о рецессивном гомозиготном состоянии генов *Rvi2* и *Rvi8* у данных форм (генотип *rvi2rvi2rvi8rvi8*). Как следует из данных таблицы 2, у большинства проанализированных сортов яблони (86,8%) в геноме присутствует хотя бы один из изучаемых молекулярных маркеров. Двенадцать сортов яблони (17,6% от общего количества) характеризуются сочетанием маркеров VfC, AL07-SCAR (ген *Rvi6*) и AD13-SCAR (ген *Rvi4*). Сочетание маркеров VfC, AL07-SCAR (ген *Rvi6*) и OPL19-SCAR (гены *Rvi2*, *Rvi8*) выявлено у 28 форм, что составляет 41,2% от общего количества генотипов. Сочетание SCAR-маркеров AD13 и OPL19 выявлено у 17,6% проанализированных сортов яблони. Сочетанием в одном генотипе маркеров VfC, AL07-SCAR, AD13-SCAR и OPL19-SCAR характеризуются сорта яблони 'Кандиль орловский', 'Красуля',

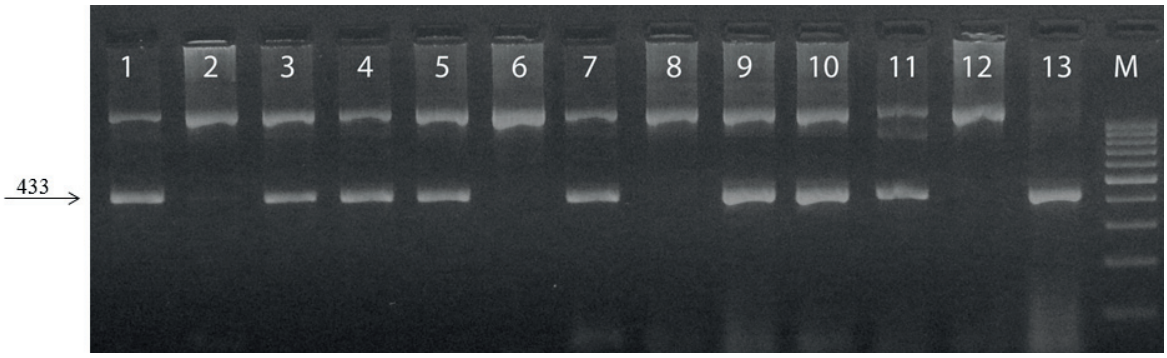


Рис. 4. Электрофореграммы продуктов амплификации ДНК сортов яблони с праймерами OPL19-SCAR:
1 – Wealthy, 2 – Golden Resistant, 3 – Орлик, 4 – Амулет, 5 – Полтава, 6 – Ariva, 7 – Revena, 8 – Karmen, 9 – Болотовское, 10 – Priam, 11 – Liberty, 12 – Julia, 13 – Witos; M – маркер молекулярного веса

Fig. 4. DNA amplification profiles generated with primers OPL19-SCAR in apple cultivars:
1 – Wealthy, 2 – Golden Resistant, 3 – Orlik, 4 – Amulet, 5 – Poltava, 6 – Ariva, 7 – Revena, 8 – Karmen, 9 – Bolotovskoye, 10 – Priam, 11 – Liberty, 12 – Julia, 13 – Witos; M – molecular weight marker

Таблица 2. Результаты ПЦР-анализа сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше

Table 2. The results of PCR analysis of apple cultivars for the monogenic scab resistance loci

Сорт / Cultivar	*Rvi6*			*Rvi4*	*Rvi2+Rvi8*
	Marker VfC	Marker AL07-SCAR		Marker AD13-SCAR	Marker OPL19-SCAR
	286 пн	570 пн	823 пн	950 пн	433 пн
Академик Казаков	+	+	+		+
Анис алый			+		+
Антоновка зимняя			+		
Антоновка каменичка			+		+
Антоновка красная			+		
Антоновка обыкновенная			+		+
Белорусское сладкое	+	+	+		+
Беркутовское			+		
Благовест	+	+	+		+
Болотовское	+	+	+		+
Былина	+	+	+		+

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Сорт / Cultivar	*Rvi6*			*Rvi4*	*Rvi2+Rvi8*
	Marker VfC	Marker AL07-SCAR		Marker AD13-SCAR	Marker OPL19-SCAR
	286 пн	570 пн	823 пн	950 пн	433 пн
Валюта	+	+	+	+	
Гейзер			+		
Готика			+		+
Грушовка московская			+	+	+
Дыямант	+	+	+		+
Зеленый шум	+	+	+		+
Имант	+	+	+		+
Кандиль орловский	+	+	+	+	+
Каскад	+	+	+		+
Коричное полосатое			+		+
Красуля	+	+	+	+	+
Кумир			+		+
Малюха			+		+
Московское ожерелье			+		+
Налив желтый			+		+
Орлик			+		+
Памяти Нестерова			+		
Полтава			+	+	+
Поэзия	+	+	+	+	
Приокское	+	+	+	+	
Ренет Симиренко			+		
Рождественское	+	+	+		+
Свежесть	+	+			+
Скала	+	+	+		+
Созвездие	+	+	+	+	+
Стрела			+		+
Суйслепское			+		+
Терентьевка			+		
Титовка			+	+	+
Триумф	+	+	+		+
Успенское	+	+	+		+
Фрегат	+	+	+		+
Чародейка	+	+	+		+
Амулет	+	+	+		+
Ariva	+	+	+		
Braeburn			+		+
Freedom	+	+			+
Fuji			+		+
Gala			+	+	+
Galarina	+	+	+	+	+
Golden Delicious			+		

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Сорт / Cultivar	*Rvi6*			*Rvi4*	*Rvi2+Rvi8*
	Marker VfC	Marker AL07-SCAR		Marker AD13-SCAR	Marker OPL19-SCAR
	286 пн	570 пн	823 пн	950 пн	433 пн
Golden Resistant	+	+	+		
GoldRush	+	+		+	
Honey Crisp			+		+
Julia	+	+	+	+	
Karmen	+	+	+		
Liberty	+	+	+		+
Ligol			+		+
Lobo			+		+
Prima	+	+	+		+
Priam	+	+	+	+	+
Redfree	+	+	+	+	+
Revena	+	+	+		+
Telemon			+		
Topaz	+	+	+		
Wealthy			+	+	+
Witos	+	+	+	+	+

Примечание: символ + показывает присутствие фрагмента указанного размера
Note: the symbol + indicates the presence of a fragment of the specified size

'Созвездие', 'Galarina', 'Priam', 'Redfree' и 'Witos', что составляет 10,3% от общего количества изучаемых форм. У 13,2% сортов ('Антоновка зимняя', 'Антоновка красная', 'Беркутовское', 'Гейзер', 'Памяти Нестерова', 'Ренет Симиренко', 'Терентьевка', 'Golden Delicious', 'Telemon') изучаемые маркеры устойчивости отсутствуют, что предположительно характеризует их генотип как рецессивный гомозиготный – *rvi2rvi2rvi4rvi4rvi6rvi6rvi8rvi8*.

Заключение

С использованием молекулярных маркеров проведен анализ полиморфизма сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше. Маркеры VfC и AL07-SCAR идентифицированы у 54,4% генотипов, из которых 91,9% являются гетерозиготами, а 8,1% (сорта 'Свежесть', 'Freedom', 'GoldRush') – доминантными гомозиготами по гену *Rvi6*. Маркер AD13-SCAR, сцепленный с геном *Rvi4*, выявлен у 25,0%, маркер OPL19-SCAR (гены *Rvi2*, *Rvi8*) – у 73,5% проанализированных форм. Сорта яблони 'Кандиль орловский', 'Красуля', 'Созвездие', 'Galarina', 'Priam', 'Redfree', 'Witos' характеризуются присутствием в одном генотипе маркеров VfC, AL07-SCAR, AD13-SCAR и OPL19-SCAR (предполагаемый генотип *Rvi2(Rvi8)Rvi4Rvi6rvi6*). Сорта 'Антоновка зимняя', 'Антоновка красная', 'Беркутовское', 'Гейзер', 'Памяти Нестерова', 'Ренет Симиренко', 'Терентьевка', 'Golden Delicious', 'Telemon' предположительно имеют рецессивный гомозиготный генотип по изучаемым локусам устойчивости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Тамбовской области в рамках научного проекта № 23-МУ-19 (02).

References/Литература

Afunian M.R., Goodwin P.H., Hunter D.M. Linkage *Vfa4* in *Malus × domestica* and *Malus floribunda* with *Vf* resistance to the apple scab pathogen *Venturia inaequalis*. *Plant Pathology*. 2004;53(4):461-467. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2004.01047.x

Boudichevskaia A., Flachowsky H., Peil A., Fischer C., Dunemann F. Development of a multiallelic SCAR marker for the scab resistance gene *Vr1/Vh4/Vx* from R12740-7A apple and its utility for molecular breeding. *Tree Genetics & Genomes*. 2006;2(4):186-195. DOI: 10.1007/s11295-006-0043-3

Bus V.G.M., Laurens F.N.D., van de Weg W.E., Rusholme R.L., Rikkerink E.H.A., Gardiner S.E. et al. The *Vh8* locus of a new gene-for-gene interaction between *Venturia inaequalis* and the wild apple *Malus sieversii* is closely linked to the *Vh2* locus in *Malus pumila* R12740-7A. *New Phytologist*. 2005a;166(3):1035-1049. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01395.x

Bus V.G.M., Rikkerink E.H.A., Caffier V, Durel C.-E., Plummer K.M. Revision of the nomenclature of the differential host-pathogen interactions of *Venturia inaequalis* and *Malus*. *Annual Review of Phytopathology*. 2011;49(1):391-413. DOI: 10.1146/annurev-phyto-072910-095339

Bus V.G.M., Rikkerink E.H.A., van de Weg W.E., Rusholme R.L., Gardiner S.E., Bassett H.C.M. et al. The *Vh2* and *Vh4* scab resistance genes in two differential hosts derived from Russian apple R12740-7A map to the same linkage group of apple. *Molecular Breeding*. 2005b;15:103-116. DOI: 10.1007/s11032-004-3609-5

DArT, 2014. Diversity Array Technology. Available from: https://www.diversityarrays.com/orderinstructions/plant-dna-extraction-protocol-for-dart/ [accessed Dec. 20, 2019].

Dunemann F., Gläss R., Bartsch S., Eldin M.A.S., Peil A., Bus V.G.M. Molecular cloning and analysis of apple *HcrVf* resistance gene paralogs in a collection of related *Malus* species. *Tree Genetics & Genomes*. 2012;8(5):1095-1109. DOI: 10.1007/s11295-012-0489-4

Khajuria Y.P., Kaul S., Wani A.A., Dhar M.K. Genetics of resistance in apple against *Venturia inaequalis* (Wint.) Cke. *Tree Genetics & Genomes*. 2018;14(2):16. DOI: 10.1007/s11295-018-1226-4

Laurens F. Review of the current apple breeding programmes in the world: objectives for scion cultivar improvement. *Acta Horticulturae.* 1998;484:163-170. DOI: 10.17660/ActaHortic.1998.484.26

Lyzhin A.S., Savel'eva N.N. Identification of scab resistance genes in the apple varieties and hybrid forms with use of molecular markers. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2018;53(5):1-14. [in Russian] (Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Идентификация генов устойчивости к парше у сортов и гибридных форм яблони с использованием молекулярных маркеров. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2018;53(5):1-14). DOI: 10.30679/2219-5335-2018-5-53-1-14

Lyzhin A.S., Savel'eva N.N. The use of DNA markers in apple breeding of scab resistance. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2017;48(2):173-176. [in Russian] (Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Использование ДНК-маркеров в селекции яблони на устойчивость к парше. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2017;48(2):173-176).

Malnoy M., Xu M., Borejsza-Wysocka E., Korban S.S., Aldwinckle H.S. Two receptor-like genes, *Vfa1* and *Vfa2*, confer resistance to the fungal pathogen *Venturia inaequalis* inciting apple scab disease. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2008;21(4):448-458. DOI: 10.1094/MPMI-21-4-0448

Nasonov A.I., Suprun I.I. Apple scab: peculiarities of the causal agent and the pathogenesis. *Mycology and Phytopathology*. 2015;49(5):275-285 [in Russian] (Насонов А.И., Супрун И.И. Парша яблони: особенности возбудителя и патогенеза. *Микология и фитопатология*. 2015;49(5):275-285).

Patrascu B., Pamfil D., Sestras R.E., Botez C., Gaboreanu I., Barbos A. et al. Marker assisted selection for response attack of *Venturia inaequalis* in different apple genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2006;34(1):121-133. DOI: 10.15835/nbha341306

Patzak J., Paprštein F., Henychová A. Identification of apple scab and powdery mildew resistance genes in Czech apple (*Malus* × *domestica*) genetic resources by PCR molecular markers. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding.* 2011;47(4):156-165. https://doi.org/10.17221/140/2011-CJGPB

Savel'ev N.I., Lyzhin A.S., Savel'eva N.N. Genetic diversity of genus *Malus* Mill. for scab resistance genes. *Russian Agricultural Sciences*. 2016;42(5):310-313. DOI: 10.3103/S1068367416050189

Shupert D., Smith A.P., Janick J., Goldsbrough P.B., Hirst P.M. Segregation of scab resistance in three apple populations: molecular marker and phenotypic analyses. *HortScience*. 2004;39(6):1183-1184. DOI: 10.21273/HORTSCI.39.6.1183

Tartarini S., Gianfranceschi L., Sansavini S., Gessler C. Development of reliable PCR markers for the selection of the *Vf* gene conferring scab resistance in apple. *Plant Breeding*. 1999;118(2):183-186. DOI: 10.1046/j.1439-0523.1999.118002183.x

Urbanovich O., Kazlovskaya Z. Identification of scab resistance genes in apple trees by molecular markers. *Scientific Works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture*. 2008; 27:347-357.

Vinatzer B.A., Patocchi A. Gianfranceschi L., Tartarini S., Zhang H.B., Gessler C. et al. Apple contains receptor-like genes homologous to the *Cladosporium fulvum* resistance gene family of tomato with a cluster of genes cosegregating with *Vf* apple scab resistance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2001;14(4):505-515. DOI: 10.1094/MPMI.2001.14.4.508

Xu M.L., Korban S.S. Saturation mapping of the apple scab resistance gene *Vf* using AFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000;101(5-6):844-851. DOI: 10.1007/s001220051551

Yakuba G.V. Ecologized protection of apple against scab under climate change: a monograph (Ekologizirovannaya zashchita yabloni ot parshi v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy: monografiya). Krasnodar: GNU SKZNIISiV; 2013. [in Russian] (Якуба Г.В. Экологизированная защита яблони от парши в условиях климатических изменений: монография. Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ; 2013).

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

Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Полиморфизм сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):64-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-64-72

Lyzhin A.S., Savel'eva N.N. Polymorphism of monogenic scab resistance loci in apple varieties. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):64-72. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-64-72

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/10.30901/2227-8834-2020-1-64-72

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
Lyzhin A.S. https://orcid.org/0000-0001-9770-8731
Savel'eva N.N. https://orcid.org/0000-0003-4874-7536

South American species *Solanum alandiae* Card. and *S. okadae* Hawkes et Hjerting as potential sources of genes for potato late blight resistance

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-73-83
УДК 635.21:632.9
Поступление/Received: 31.01.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

O. A. MURATOVA (FADINA)[1], M. P. BEKETOVA[1], M. A. KUZNETSOVA[2], E. V. ROGOZINA[3], E. E. KHAVKIN[1]*

[1] All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, 42 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia
** emil.khavkin@gmail.com*

[2] All-Russian Research Institute of Phytopathology, 5 Institut St., Bolshie Vyazemy, Odintsovo District, Moscow Province 143050, Russia
kuznetsova@vniif.ru

[3] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
rogozinaelena@gmail.com

Южноамериканские виды *Solanum alandiae* Card. и *S. okadae* Hawkes et Hjerting как потенциальные источники генов устойчивости к фитофторозу картофеля

О. А. МУРАТОВА (ФАДИНА)[1], М. П. БЕКЕТОВА[1], М. А. КУЗНЕЦОВА[2], Е. В. РОГОЗИНА[3], Э. Е. ХАВКИН[1]*

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии (ВНИИСБ), 127550 Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 42
** emil.khavkin@gmail. com*

[2] Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ), 143050 Россия, Московская обл., Большие Вяземы, ул. Институт, 5
kuznetsova@vniif.ru

[3] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
rogozinaelena@gmail.com

For several decades, wild species of *Solanum* L. section *Petota* Dumort. have been involved in potato cultivar breeding for robust resistance to pests and diseases. Potato late blight (LB) is caused by oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, and the genes for race-specific resistance to *P. infestans* (*Rpi* genes) have been introgressed into cultivated potatoes by remote crosses and trans- or cisgenesis, first from *S. demissum* Buk. and, more recently, from other wild species, such as *S. bulbocastanum* Dun., *S. stoloniferum* Schlechtd. et Bché, and *S. venturii* Hawkes et Hjerting (according to the nomenclature by Hawkes, 1990). Most wild species already involved in breeding for LB resistance came from North and Central Americas: series *Bulbocastana* (Rydb.) Hawkes, *Demissa* Buk. and *Longipedicellata* Buk., and some *Rpi* genes of these species have been already characterized in much detail. *Rpi* genes of South American species, including the series *Tuberosa* (Rydb.) Hawkes, have not been sufficiently investigated. Among the latter, this study focuses on the *Rpi* genes of *S. alandiae* Card. and *S. okadae* Hawkes et Hjerting. Four accessions of *S. alandiae*, one accession of *S. okadae* and 11 clones of interspecific potato hybrids comprising *S. alandiae* germplasm from the VIR collection were PCR-screened using specific SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) markers for eight *Rpi* genes. SCAR amplicons of five *Rpi* genes registered in this study were validated by comparing their sequences with those of prototype genes deposited in the NCBI Genbank. Among the structural homologues of *Rpi* genes found in *S. alandiae* and *S. okadae*, of special interest are homologues of CC-NB-LRR resistance genes with broad specificity towards *P. infestans* races, in particular *R2=Rpi-blb3*, *R8*, *R9a*, *Rpi-vnt1* and *Rpi-blb2* (94–99, 94–99, 86–89, 92–98 and 91% identity with the prototype genes, respectively). Our data may help to better understand the process of *Rpi* gene divergence along with the evolution of tuber-bearing *Solanum* species, particularly in the series *Tuberosa*.

Key words: tuber-bearing *Solanum* species, *Phytophthora infestans,* CC-NB-LRR genes, structural homologues, SCAR markers.

Дикорастущие виды *Solanum* L. секция *Petota* Dumort., сначала *S. demissum* Buk., а позже *S. bulbocastanum* Dun., *S. stoloniferum* Schlechtd. et Bché, *S. venturii* Hawkes et Hjerting (здесь и далее по системе Hawkes, 1990) и другие – служат источниками генов устойчивости к *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary (genes for resistance to *P. infestans*, *Rpi*-гены) в селекции картофеля на устойчивость к фитофторозу методами отдаленной гибридизации и транс- или цисгеноза. В отличие от *Rpi*-генов, детально охарактеризованных у видов *Solanum* из Северной и Центральной Америки, прежде всего серий *Bulbocastana* (Rydb.) Hawkes, *Demissa* Buk. и *Longipedicellata* Buk., *Rpi*-гены южноамериканских видов, включая серию *Tuberosa* (Rydb.) Hawkes, изучены очень слабо. К числу последних относятся *S. alandiae* Card. и *S. okadae* Hawkes et Hjerting. Четыре образца *S. alandiae,* образец *S. okadae* и 11 клонов межвидовых гибридов *S. alandiae* с культурным картофелем из коллекции ВИР исследовали методом ПЦР с помощью специфичных SCAR-маркеров (Sequence Characterized Amplified Region) восьми *Rpi*-генов. Последовательности SCAR-маркеров пяти обнаруженных *Rpi*-генов валидировали, сравнивая их с генами-прототипами из Генбанка NCBI. Среди структурных гомологов *Rpi*-генов, найденных у *S. alandiae* и *S. okadae*, особый интерес представляют гомологи *Rpi*-генов с широкой расовой специфичностью: *R2=Rpi-blb3*, *R8*, *R9a*, *Rpi-vnt1* и *Rpi-blb2* (соответственно 94–99, 94–99, 86–89, 92–98 и 91% сходства с генами-прототипами). Полученные данные будут способствовать лучшему пониманию дивергенции *Rpi*-генов в процессе эволюции клубненосных видов *Solanum*, особенно в серии *Tuberosa*.

Ключевые слова: клубнеобразующие виды *Solanum*, *Phytophthora infestans,* CC-NB-LRR гены, структурные гомологи, SCAR-маркеры.

Introduction

Late blight (LB) caused by oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary is among the major obstacles on the road to sustainable potato production. To limit this disease, breeders deploy the technologies of remote crosses and trans- and cisgenesis to transfer the genes of resistance to *P. infestans* (*Rpi* genes) from wild *Solanum* species into susceptible potato cultivars, which are demanded by the market. However, due to rapid genome evolution and migration of new strains, severe outbreaks of the pathogen have been relentlessly overcoming plant defense barriers built up by breeders and negating, literally within a few days, their many years of effort (Cooke et al., 2012; Fry, 2016). By combining (pyramiding) several *Rpi* genes in one potato plant, breeders provide for robust and durable resistance of new cultivars to a broad range of *P. infestans* pathotypes. Therefore, it is an urgent task of plant biologists to constantly seek for new sources of resistance, predominantly in wild *Solanum* genotypes, which have not been as yet introduced into potato breeding, and expand the scope of *Rpi* genes thoroughly characterized and documented with molecular methods (Vossen et al., 2014; Bethke et al., 2019).

All presently characterized *Rpi* genes belong to the CC-NB-LRR type: their protein products comprise coiled-coil, nucleotide-binding and leucine-rich region domains (Hein et al., 2009; Jupe et al., 2012; Rodewald, Trognitz, 2013). The mechanisms of immediate molecular interactions between the products of *P. infestans* avirulence genes and the products of *Solanum Rpi* genes, that is, effector recognition by receptor kinase, have been sufficiently researched only in few cases, such as Avr3a – R3a interaction. However, such lack of information on the *Rpi* genes does not hinder the genetic studies aimed at mining *Solanum* collections for new *Rpi* genes and introducing these genes into breeding for durable LB resistance. Following the marker-assisted mapping and cloning of *Rpi* genes, recent years have seen a considerable progress in this direction. New methodologies, such as effectoromics, allele profiling and diagnostic resistance gene enrichment sequencing (dRenSeq), tremendously facilitated the search for new *Rpi* genes and new alleles of *Rpi* genes already characterized in other species of *Solanum* L. within the section *Petota* Dumort (Vossen et al., 2014; van Weymers et al., 2016; Chen et al., 2018; Jiang et al., 2018; Armstrong et al., 2019). Currently some of these genes have been introgressed into commercial potato cultivars (Haesaert et al., 2015).

The potato genetic collection maintained at the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR) in St. Petersburg is a major source of prospective *Rpi* genes. These genes can be found in the collection accessions of wild potatoes (Zoteyeva, 2012) and in the multiparental interspecific hybrids comprising numerous *Rpi* genes of broad race specificity toward *P. infestans*. It is most significant that such hybrids could keep *Rpi* genes already lost from the collections of wild species (Fadina et al., 2017; Rogozina et al., 2018).

Most *Rpi* genes already characterized in sufficient detail and employed by breeders (Hein et al., 2009; Rodewald, Trognitz, 2013; Vossen et al., 2014; Aguilera-Galvez et al., 2018; Rogozina et al., 2018) come from wild *Petota* species growing in North and Central America: series *Bulbocastana* (Rydb.) Hawkes, *Demissa* Buk. and *Longipedicellata* Buk. South America hosts three fourth of unique *Petota* species (Spooner et al., 2014); nevertheless, most of these species are *terra incognita* as far as *Rpi* genes are concerned, with the best known exception of the *Rpi-vnt1* gene from *S. venturii* Hawkes et Hjerting. This fully applies to two species from the series *Tuberosa*, *S. alandiae* Card. (accepted by Spooner et al., 2014, as *S. brevicaule* Bitter) and *S. okadae* Hawkes et Hjerting. We screened these species with specific SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) markers of eight *Rpi* genes and found several structural homologues of *Rpi* genes with broad specificity toward *P. infestans* races: *R2 / Rpi-blb3*, *R8*, *R9*, *Rpi-vnt1* and *Rpi-blb2*. Some data presented below have been reported at the XVII EuroBlight Workshop (Muratova [Fadina] et al., 2019).

Materials and methods

Plant material from the VIR potato genetic collection included the lines isolated from *S. alandiae* accessions k-18473, k-20408 and k-21240. The *S. okadae* line was isolated from the accession k-25397 derived from *P. infestans* resistant accession CGN 18279, which was kindly provided by Roel Hoekstra (Wageningen University & Research, Wageningen [WUR]). In addition, our study included potato interspecific hybrids containing *S. alandiae* germplasm and several potato cultivars and hybrids employed as references in LB assessments and as positive and negative controls in the marker analysis. These hybrids and cultivars are maintained in the collection of the All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow Province, Russia (http://www.vniif.ru).

Resistance of wild species to *P. infestans* was evaluated in the laboratory tests with detached leaves according to Fadina et al. (2017) using a highly virulent and aggressive isolate of *P. infestans* 161 (races 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11, mating type A1) collected in Moscow Province (the collection of the Institute of Phytopathology), and cv. 'Santé' as a reference. The LB resistance of potato hybrids and cultivars was assessed in the field trials at the Institute of Phytopathology and VIR under natural infestation by registering the area under the disease progress curve (AUDPC) against several cultivars used as references. All experimental data for LB resistance were converted to 1–9-point scores.

Plant DNA samples were PCR-screened for eight *Rpi* genes: *R1, R2/Rpi-blb3, R3a, R3b, R8, Rpi-blb1 = Rpi-sto1, Rpi-blb2* and *Rpi-vnt1* (Fadina et al., 2017). Specific SCAR markers are based on the sequences of *Rpi* prototype genes, that is, the genes extensively characterized by their structure and function. The markers were validated against *Solanum* genotypes comprising the functional alleles of the corresponding genes. Methods for DNA isolation, PCR primers (Fig. 1; Table 1) and protocols for PCR analysis, cloning and sequencing of DNA fragments as well as bioinformatic procedures were described previously (Fadina et al., 2017; Muratova [Fadina] et al., 2019). SCAR amplicons were verified by comparing their sequences to those of prototype genes deposited in the NCBI Genbank.

Results and discussion

Several accessions of *S. alandiae* were reported to manifest considerable resistance to *P. infestans* (Perez et al., 2001; Bhardwaj et al., 2018; Zoteyeva, 2019); however, the *Rpi* genes in *S. alandiae* have not been researched extensively. By screening *S. alandiae* accessions and *S. alandiae* hybrids with potato cultivars we found the structural homologues of several *Rpi* genes of broad specificity toward *P. in-*

Table 1. SCAR markers of *Solanum Rpi* genes (according to Muratova [Fadina] et al., 2019, modified)

Таблица 1. SCAR-маркеры *Rpi*-генов *Solanum* spp. (по Muratova [Fadina] et al., 2019, с изменениями)

Gene	Prototype gene*	Marker and its size, bp	Position on the prototype genes, bp	Primer sequences	Anneal. temp., °C	Reference
R1	AF447489	R1-1205	5126-6331	F-cactcgtgacatatcctcacta R-gtagtacctatcttatttctgcaagaat	61	Sokolova et al., 2011
R2/Rpi-blb3	FJ536325	R2-686	1370-2055	F-gctcctgatacgatccatg R-acggcttcttgaatgaa	54	Kim et al., 2012
R3a	AY849382	R3a-1380	1677-3056	F-gtagtacctatcttatttctgcaagaat R-agccacttcagcttcttacagtagg	64	Sokolova et al., 2011
R3b	JF900492	R3b-378	94818-95195	F-gtcgatgaatgctatgtttctcgaga R-accagtttcttgcaattccagattg'	64	Rietman et al., 2012
Rpi-blb1 = Rpi-sto1	AY336128	Rpi-blb1-820	2304-3124	F-aacctgtatggcagtggcatg R-gtcagaaaagggcactcgtg	62	Wang et al., 2008
	EU884421	Rpi-sto1-890	241–1130	F-accaaggccacaagattctc R-cctgcggttcggttaataca	65	Haesaert et al., 2015
Rpi-blb2	DQ122125	Rpi-blb2-976	3226-4202	F-ggactgggtaacgacaatcc R-atttatggctgcagaggacc	55	Van der Vossen et al., 2005
Rpi-vnt1	FJ423046	Rpi-vnt1.3-612	89-701	F-ccttcctcatcctcacatttag R-gcatgccaactattgaaacaac	58	Pel, 2010
R8	KU53015	R8-1276	73694-74970	F-aacaagagatgaattaagtcggtagc R-gctgtaggtgcaatgttgaagga	62.5	Modified after Vossen et al., 2016

* Accession numbers in the NCBI Genbank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/)
* Номера последовательностей в Генбанке NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/)

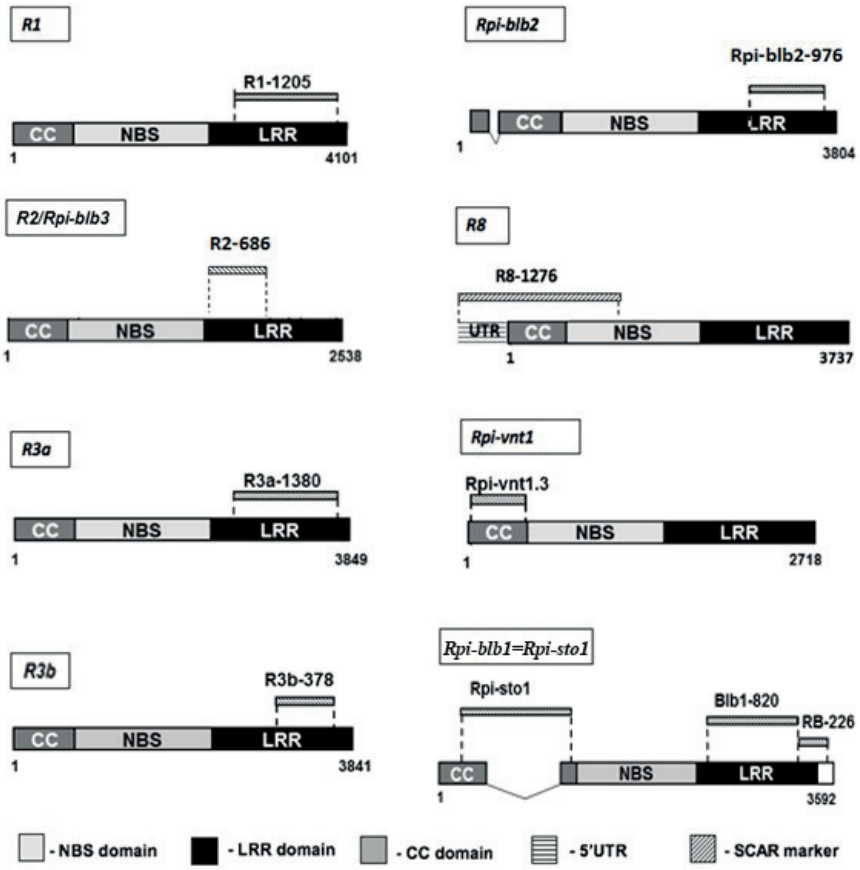


Fig. 1. SCAR markers of the *Rpi* genes are schematically positioned against the CC-NB-LRR domains (according to Muratova [Fadina] et al., 2019, modified)

Рис. 1. Схема положения SCAR-маркеров в последовательностях CC-NB-LRR доменов *Rpi*-генов (по Muratova [Fadina] et al., 2019, с изменениями)

festans races (Table 2, Table 3). Comparison of marker sequences to those of the prototype genes showed that the *S. alandiae* genome comprised the structural homologues of *R2/Rpi-blb3*, *R8*, *R9a*, *Rpi-vnt1* and *Rpi-blb2* (with 94–99, 94–99, 86–89, 92–98 and 91% identity with the prototype genes, respectively). The marker of the *R1* gene, found only in potato cultivars and their hybrids, was apparently derived from that of *S. demissum*. The markers of the *R3b* and *Rpi-blb1 = Rpi-sto1* genes were not found in the analyzed genotypes.

This is the first report on the structural homologue of the *Rpi-vnt1* gene in *S. alandiae*. *S. okadae* amplicons sequenced in this study were 97–98% identical to the *Rpi-vnt1.3* homologue from the *S. alandiae* genome (Table 3). The *Rpi-vnt1.2* allele was reported in the accession CGN 18279 (Pel, 2010), corresponding to *S. okadae* k-25397; however, Pel and his associates (Pel, 2010) presumed that this accession belonged to the species *S. venturii*.

The structural homologues of the *Rpi-vnt1* gene from *S. alandiae* and *S. okadae* differed from the prototype gene

Table 2. Presence or absence of the SCAR markers *Rpi* genes in accessions of *Solanum okadae, S. alandiae* and in *S. alandiae* hybrids with potato cultivars (according to Muratova [Fadina] et al., 2019, modified)

Table 2. Наличие / отсутствие SCAR-маркеров *Rpi*-генов у образцов *Solanum okadae*, *S. alandiae* и гибридов *S. alandiae* с сортами картофеля (по Muratova [Fadina] et al., 2019, с изменениями)

Genotype	VIR accession number and pedigree*	R1-1250	R2-686	R3a-1380	Rpi-blb2-976	R8-1259	Rpi-vnt1.3-612	Resistance to *P. infestans*, points
S. alandiae	k-21240 D17-329	0	0	0	1	1	0	5
S. alandiae	k-18473-1	0	1	0	1	1	1	nd
S. alandiae	k-19443	0	0	0	1	0	0	5
S. alandiae	k-20408	0	0	0	1	1	0	3
S okadae	k-25397-1	0	1	0	1	1	1	nd
cv. Atzimba P1	nd	0	0	0	1	1	0	5
39-1-2005	Atzimba × *S. alandiae*	0	0	0	0	1	1	6
cv. Elizaveta P2	acl, adg, dms, phu, sto, vrn	1	0	1	0	0	0	4
cv. Svitanok Kievskij P2	dms	0	1	1	0	1	0	5
24-1	Atzimba × *S. alandiae*	0	0	0	1	1	1	6
24-2		0	1	0	1	0	1	6
117-1		0	0	0	1	0	1	5
117-2		0	0	0	1	1	1	5
25-1-2007	24-1 × Elizaveta	1	0	0	1	0	0	5
25-2-2007		1	0	0	1	0	1	4
134-6-2006	24-2 × Svitanok Kievskij	0	0	1	0	1	1	5
134-2-2006		0	0	0	0	1	1	6
135-1-2006	Svitanok Kievskij × 24-2	1	1	1	0	0	1	5
135-2-2006		1	1	1	0	0	0	4
cv. Alouette		0	0	1	0	nd	1	8

* acl, *S. acaule* Bitt.; adg, *S. tuberosum* subsp. *andigena* Hawkes; aln, *S. alandiae* Cárd.; dms, *S. demissum* Lindl.; phu, *S. phureja* Juz. et Buk.; sto, *S. stoloniferum* Schlechtd. et Bché; vrn, *S. vernei* Bitt. et Wittm.; nd, no data.

* acl, *S. acaule* Bitt.; adg, *S. tuberosum* subsp. *andigena* Hawkes; aln, *S. alandiae* Cárd.; dms, *S. demissum* Lindl.; phu, *S. phureja* Juz. et Buk.; sto, *S. stoloniferum* Schlechtd. et Bché; vrn, *S. vernei* Bitt. et Wittm.; nd, нет данных.

1 – presence of the marker, 0 – absence of the marker

1 – наличие маркера, 0 – отсутствие маркера

Table 3. Similarity levels (% identity) of nucleotide sequences in sequenced fragments of *Solanum alandiae* and *S. okadae* genomes as compared with the homologous regions of known *Rpi* genes

Таблица 3. Уровень сходства (в %) нуклеотидных последовательностей секвенированных фрагментов геномов *Solanum alandiae* и *S. okadae* с гомологичными районами известных *Rpi*-генов

	R2 *S. demissum* FJ536325**	*Rpi-blb3* *S. bulbocastanum* FJ536346	*R2/Rpi-blb3* *S. okadae**		
R2/Rpi-blb3 homologue from *S. alandiae**	94	97	98-99		
	Rpi-blb2 *S. bulbocastanum* DQ122125	*Mi-1.2* *S. lycopersicum* AF091048			
Rpi-blb2 homologue from *S. alandiae**	91	86			
	*R9a***	*Rpi-vnt1.1* *S. venturii* FJ423044	*Rpi-vnt1.2* *S. venturii* FJ423045	*Rpi-vnt1.3* *S. venturii* FJ423046	*Rpi-vnt1* *S. okadae* k-25397*
Rpi-vnt1.3 homologue from *S. alandiae**	86-89	92-93	92-93	92-93	97-98
*	*R8* *S. demissum* KU530153	*Sw5-b* *S. lycopersicum* AY007366	*R8* *S. okadae** k-25397		
R8 homologue from *S. alandiae**	99	85	94		

* Cloned in our laboratory; ** compared to the sequence published by Armstrong et al. (2019) as Appendix S1 (https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbi.12997).

* Клонированы в нашей лаборатории; **в сравнении с последовательностью, опубликованной Armstrong et al. (2019) в Приложении S1 (https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/pbi.12997).

** Accession numbers in the NCBI Genbank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/) are indicated

** Указаны номера образцов в Генбанке NCBI Genbank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/)

Rpi-vnt1.1 of *S. venturii* (FJ423044) by several single nucleotide polymorphisms (SNPs) and one three-nucleotide insertion. *Rpi-vnt1* clones from *S. alandiae* (accession k-18473) revealed two diverse variants of sequences with 90% identity: the sequence *Rpi-vnt1 S. alandiae 2* comprised a 24-nucleotide deletion, which was also characteristic of the *Rpi-vnt1.1* sequences in *S. okadae,* the prototype gene from *S. venturii* (FJ423044) and the marker Rpi-vnt1.3-612 (MH297492) cloned from cv. Alouette (Fig. 2). One of the SNPs in *Rpi-vnt1* from *S. alandiae 1* resulted in a stop codon and, as a consequence, a shortened protein (Fig. 3), which was 83% identical to Rpi-vnt1-like amino acid sequence from *S. okadae* (ADB85624) and only by 77% to the corresponding sequence from *S. venturii* (ACJ66596). The amino acid sequences were identical to the corresponding Rpi-vnt1 sequence (ACJ66596) encoded by the functionally active *Rpi-vnt1.3* allele of *S. venturii* (FJ423046). Thus, we can assume that at least some regions of *Rpi-vnt1* in *S. alandiae* and *S. okadae* are translatable. In addition, *S. alandiae* comprised sequences resembling the *Rpi-vnt*-like, which were different from the functional gene *Rpi-vnt1*.

The presence of the Rpi-vnt1.3-612 marker in *S. alandiae* and potato hybrids was significantly related to elevated LB resistance (the Spearman's correlation coefficient 0.54 at 5% confidence level).

The Rpi-vnt1.3-612 sequences cloned from cv. Atzimba × *S. alandiae* hybrids resembled the functional gene *R9a/Rpi-edn2* (Jo et al., 2015), rather than *Rpi-vnt1.* Their amino acid sequences differed from those of prototype genes by several single amino acid substitutions and a characteristic KGA insertion (Fig. 3). The identity of *Rpi-vnt1* from the South American species *S. alandiae* and *S. okadae* to its close homologue *R9a* from North American species *S. demissum* (Aguilera-Galvez et al., 2018; Armstrong et al., 2019) was below 90% (Table 3).

The presence of the functional *Rpi-vnt1.1* gene in resistant *S. okadae* accessions and their resistant progeny was later confirmed by dRenSeq and corroborated by *Avr-vnt1* recognition in transient expression assays (van Weymers et al., 2016). In addition to *S. venturii*, M. A. Pel (2010) cloned *Rpi-vnt1* homologues sharing 80 to 97% identity with the prototype gene from 13 wild South American species belonging to the series *Tuberosa*; the gene was represented by three alleles of monophyletic origin, with *Rpi-vnt1.1* and *Rpi-vnt1.3* alleles apparently evolved from *Rpi-vnt1.2*. We compared these sequences to *Rpi-vnt1* homologues from

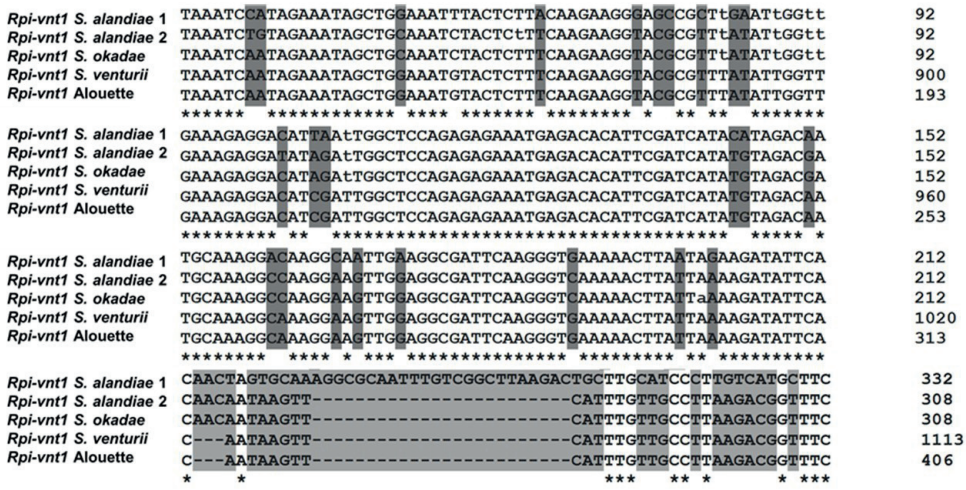


Fig. 2. Multiple alignment of nucleotide sequences of the fragments of *Rpi-vnt1* structural homologues from *Solanum alandiae* and *S. okadae*, and a region of the functional *Rpi-vnt1* gene.
Rpi-vnt1 S. alandiae 1 and *Rpi-vnt1 S. alandiae 2*, marker Rpi-vnt1.3-612 cloned from *S. alandiae* k-18473; *Rpi-vnt1 S. okadae*, marker Rpi-vnt1.3-612 cloned from *S. okadae* k-25397; *Rpi-vnt1 S. venturii*, the prototype gene *Rpi-vnt1.1* (FJ423044); *Rpi-vnt1* Alouette, marker Rpi-vnt1.3-612 cloned from cv. Alouette (MH297492). Identical nucleotides are indicated by asterisks. Regions of diversity are highlighted in grey

Рис. 2. Множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей фрагментов структурных гомологов генов *Rpi-vnt1 Solanum alandiae* и *S. okadae*, а также участка функционального *Rpi-vnt1*-гена.
Rpi-vnt1 S. alandiae 1 и *Rpi-vnt1 S. alandiae 2* – полиморфные варианты 1 и 2 маркера *Rpi-vnt1.3-612*, клонированного из *S. alandiae* к-18473; *Rpi-vnt1 S. okadae*, маркер *Rpi-vnt1.3-612*, клонированный из *S. okadae* к-25397; *Rpi-vnt1 S. venturii*, ген-прототип *Rpi-vnt1.1* (FJ423044); *Rpi-vnt1* Alouette, маркер Rpi-vnt1.3-612, клонированный из сорта Alouette (MH297492). Идентичные нуклеотиды обозначены звездочками. Области различия выделены серой заливкой

Fig. 3. Multiple alignment of the Rpi-vnt1 protein sequences from interspecific Atzimba × *S. alandiae* hybrids (24-1, 24-2, 117-1, 117-2 and 39-1-2005) and cv. Alouette against those encoded by known functional genes.
RPI-EDN2 corresponds to *Rpi-edn2* from *S. edinense* (US Patent 2014/0041072 A1), Rpi-vnt1.1, Rpi-vnt1.2 and Rpi-vnt1.3 are fragments of the corresponding *S. venturii* proteins ACJ66594, ACJ66595 and ACJ66596, RPP13-like is *S. tuberosum* disease resistance protein RPP13-like XP_015170549. Regions of diversity are highlighted in grey; KGA are amino acid residues characteristic of Rpi-vnt-like and RPI-EDN2

Рис. 3. Множественное выравнивание участков последовательностей белков Rpi-vnt1 из межвидовых гибридов Atzimba × *S. alandiae* (24-1, 24-2, 117-1, 117-2 и 39-1-2005), сорта Alouette и соответствующих последовательностей белков, кодируемых известными функциональными генами.
RPI-EDN2 соответствует *Rpi-edn2* из *S. edinense* (US Patent 2014/0041072 A1), Rpi-vnt1.1, Rpi-vnt1.2 и Rpi-vnt1.3 – фрагменты соответствующих белков *S. venturii* ACJ66594, ACJ66595 и ACJ66596; RPP13-like – белок RPP13-like гена устойчивости *S. tuberosum* к болезням XP_015170549. Области различия выделены серой заливкой; KGA – аминокислотные остатки, характерные для белков Rpi-vnt-like и RPI-EDN2

S. alandiae and *S. okadae* characterized in this study. To eliminate polymorphisms due to synonymic substitutions, we aligned amino acid sequences corresponding to the Rpi-vnt1.3-612 marker found in *S. alandiae* and *S. okadae* with the sequences corresponding to Rpi-vnt1 proteins in other South American species (Fig. 4).

These South American species comprise an insertion absent in other sequences, including *S. okadae* GU338334, and a deletion shared with *S. bukasovii* GU338315 and *S. microdontum* GU338312. It is of special significance that we failed to discern the marker Rpi-vnt1.3-612 in *S. verrucosum* Schltdl. accessions k-24995, k-24991, k-23760, k-24313, k-23015, k-23760, and PI195171, the only *Tuberosa* species in North and Central Americas (Spooner et al., 2014). The absence of *Rpi-vnt1* in *S. verrucosum* was also reported using dRenSeq technology (Chen et al., 2018).

In addition to *Rpi-vnt1* genes, SCAR marker analysis of *S. alandiae* and *S. okadae* revealed structural homologues of *R2/Rpi-blb3*, *Rpi-blb2* and *R8* characteristic of North and Central American species (Table 3). The *S. alandiae* fragment was 91% homologous to *Rpi-blb2* in *S. bulbocastanum* (DQ122125) and differed from the prototype by several SNPs and deletions (Fig. 5). The *S. alandiae* and *S. okadae* fragments were both 99% identical to *R8* from *S. demissum* (KU530153) and differed in several SNPs and one nucleotide deletion. The *R8* homologue from hybrid 24-1 (Atzimba × *S. alandiae* k-21240) completely matched the R8-1276 sequence from *S. alandiae* k-20408 (Fig. 6). *R8* homologues from *S. alandiae* and *S. okadae* differed by three deletions from the corresponding fragment of *Sw5b* (Fig. 6), which was only 83% identical to *R8* in *S. demissum* (Jiang et al., 2018).

R2 homologues from *S. alandiae* and *S. okadae* were 94–97% identical to the prototype gene from *S. demissum* (FJ536325) and its orthologue *Rpi-blb3* from *S. bulbocastanum* (FJ536346). Notably, the latter, together with *R2* homologues from *S. alandiae* and *S. okadae*, differed from the *R2* of *S. demissum* by several SNPs and a six-nucleotide insertion (Fig. 7).

```
S .alandiae     CCTGAAATTCAACAATCCAACAATAAGTTCACTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCC  341
S. okadae*      CCTGA-ATTCAACAATCCAACAATAAGTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCC  396
S. bukasovii    CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  473
S. microdontum  CCAAAAATTCAACAATCC---AATAAGTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCC  453
S. stenotomum   CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCC  469
S. sucrense     CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCC  312
S. raphanifolium CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  312
S. orophilum    CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  470
S. medians      CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  312
S. neorosii     CCAGAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  313
S. oplocense    CCAAAATTTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  469
S. okadae       CCAAAAATTCAACAATCC---AATAATTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCG  312
S. tarijense    CCAAAAATTCAACAATCC---AATAAGTTCATTTGTTGCCTTAAGACGGTTTCTTTTGCC  453
                **  *  ***********   ***** **** ****************************

S .alandiae     AGGACAACTTACAATATCACAGATACAAGTAAC---AATGATGATGATTGCATTCCATTG  458
S. okadae*      AGGACAACTTACAATATCACAGATACAAGTAAC---AATGATGATGATTGCATTCCATTG  512
S. bukasovii    AGGACAACTTACAGCATCACAGATACAAGTAAC---AATAATGATGATTGCATTCCATTG  589
S. microdontum  AGGACAACTTACAACATCACAGATACAAGTAAC---AATAATGATGATTGTATTCCATTG  570
S. stenotomum   AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  589
S. sucrense     AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  432
S. raphanifolium AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  432
S. orophilum    AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  590
S. medians      AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAAAAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  432
S. neorosii     AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  433
S. oplocense    AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  589
S. okadae       AGGACAACTTACAACATCATGGATACAAATAATAACAACAATAACGATTGCATTCCATTG  432
S. tarijense    AGGACAACTTACAGCATCACAGATACAAGTAAC---AATAATGATGATTGCATTCCATTG  570
                *************  ****  *******  **    **  ** * ***** *********
```

Fig. 4. Multiple alignment of nucleotide sequences of the fragments of *Rpi-vnt1* structural homologues from *Solanum alandiae* and *S. okadae*, and regions of the known *Rpi-vnt1* genes from South American species of *Tuberosa* series (Pel, 2010).

S. alandiae and *S. okadae**, the Rpi-vnt1.3-612 marker cloned in this study from the *S. alandiae* accession k-18473 and the *S. okadae* accession k-25397. All other sequences are from the NCBI Genebank: *S. bukasovii* Juz. GU338315, *S. microdontum* Bitt. GU338312, *S. stenotomum* Juz. & Buk. GU338323, *S. sucrense* Hawkes GU338339, *S. raphanifolium* Cárd. & Hawkes GU338338, *S. orophilum* Corr. GU338320, *S. medians* Bitt. GU338344, *S. neorossii* Hawkes & Hjert. GU338331, *S. oplocense* Hawkes GU338317, *S. okadae* GU338334, and *S. tarijense* Hawkes U338326.

For other notations see Fig. 2

Рис. 4. Множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей фрагментов структурных гомологов генов *Rpi-vnt1 Solanum alandiae* и *S. okadae*, а также участков гена *Rpi-vnt1* из южноамериканских видов серии *Tuberosa* (Pel, 2010).

S. alandiae и *S. okadae** – маркер Rpi-vnt1.3-612, клонированный в этом исследовании из образца к-18473 *S. alandiae* и образца к-25397*S. okadae*. Все другие последовательности – из Генбанка NCBI: *S. bukasovii* Juz. GU338315, *S. microdontum* Bitt. GU338312, *S. stenotomum* Juz. & Buk. GU338323, *S. sucrense* Hawkes GU338339, *S. raphanifolium* Card. & Hawkes GU338338, *S. orophilum* Corr. GU338320, *S. medians* Bitt. GU338344, *S. neorossii* Hawkes & Hjert. GU338331, *S. oplocense* Hawkes GU338317, *S. okadae* GU338334 и *S. tarijense* Hawkes GU338326. Остальные обозначения как на рис. 2

```
Rpi-blb2 S. alandiae        CATCAGATTTGTTGCCACGTCAAATTACCATTGATTATGATGAGG------AGCACTTTG     304
Mi-1 L.esculentum           CATCAGATTTGTTGCCTCGTCAAATTACCATTGATTATGATGAGGAGGAGGAGCACTTTG     2728
Rpi-blb2 S. bulbocastanum   CATCAGATTTGTTGCCACGTCAAATTAGCATTGATTATGATGATGATGAAGAGCACTTTG     4314
                            *************** ********** ************** *      *********

Rpi-blb2 S. alandiae        GGCTTAATTTTGTTCTGTTCGGTTCAATAAGAAA---GGCATTCTCGTAACACCTGTATT     361
Mi-1 L.esculentum           GGCTTAATTTTGTCATGTTCGATTCAAATAAGAAAAGGCATTCTGGTAAACACCTCTATT     2788
Rpi-blb2 S. bulbocastanum   GGCTTAATTTTGTCCTGTTCGGTTCAAATAAGAAAAGGCATTCCGGTAAACACCTCTATT     4374
                            *************  ****** *****  *  **   *   *      ******* ****

Rpi-blb2 S. alandiae        CTTCTACCATACATGGAGACGAGCTGGACGATTGTCTCTCTGATACATTTCAGCTAAGAC     421
Mi-1 L.esculentum           CTTTGAGGATAAATGGAGACCAGCTGGATGACAGTGTTTCTGATGCATTTCACCTAAGAC     2848
Rpi-blb2 S. bulbocastanum   CTTTGACCATAAATGGAGATGAGCTGGACGACCATCTTTCTGATACATTTCATCTAAGAC     4434
                            ***  *  *** *******  ******* **   * * ****** ******* *******

Rpi-blb2 S. alandiae        ACTTGAGGCTTCTTAGAGTGTTGCACTTGGATTCCTCTTTTATCATGTGAA--GATTCTT     479
Mi-1 L.esculentum           ACTTGAGGCTTATTAGAGTGTTGGACCTGGAACCCTCTTTAATCATGGTGAATGATTCTT     2908
Rpi-blb2 S. bulbocastanum   ACTTGAGGCTTCTTAGAACCTTGCACCTGGAATCCTCTTTTATCATGGTTAAAGATTCTT     4494
                            *********** *****   *** ** ****  ******* ******   *  *******

Rpi-blb2 S. alandiae        TGCTGAATGAATATGCATTGTTGAATCATTTGAGGTCTTAGATTG-----GGACACAGTT     534
Mi-1 L.esculentum           TGCTGAATGAAATATGCATGTTGAATCATTTGAGGTACTTAAGAATTCGGACACAAGTTA     2968
Rpi-blb2 S. bulbocastanum   TGCTGAATGAAATATGCATGTTGAATCATTTGAGGTACTTAAGCATTGGGACAGAAGTTA     4554
                            ***********       ******************  *  *          * *   *
```

Fig. 5. **Structural homology between the cloned marker fragment Rpi-blb2-976 from *Solanum alandiae* accession k-19443, the *Rpi-blb2* gene from *S. bulbocastanum* (DQ122125), and its analogue *Mi-1* from *S. lycopersicum* L. (AF091048).**
For other notations see Fig. 2

Рис. 5. **Сравнение нуклеотидных последовательностей клонированного маркерного фрагмента Rpi-blb2-976 из образца к-19443 *Solanum alandiae*, последовательностей гена *Rpi-blb2* из *S. bulbocastanum* (DQ122125) и его аналога *Mi-1* из *S. lycopersicum* L. (AF091048).**
Другие обозначения как на рис. 2

```
Sw5b            aagagaataaggatcagtatggtacttgacttgcttacccacttcttcaagtcgagttgt   1740
R8 S. alandiae  TC---------GCGAAATA-----------------AGTTACTTGATCATGTATATGTGA   102
R8 S. okadae    TC---------GCGAAATA-----------------AGTTACTTCATCATGTATATGTGA   91
                            *   * **                *   ****  *** **  *  **

Sw5b            tacgactattctgcttctaattccatcatctggaaaagaaagccttaagtcatcccatac   1800
R8 S. alandiae  TCATAATTTATATATTCCATCACTATGATATGGGATACATAATCGGAGGACTACCAAATA   162
R8 S. okadae    TCATAATTTATATATTCCATCACTATGGTATGGGATACATAATCGGAGGACTACCTAATA   151
                *   * * *     *** *   * **  * *** * * * *  *  * * *  ** *

Sw5b            catacaatcccacatatcatccaatacaatgagatatc----tctttcccattaatttc   1856
R8 S. alandiae  TGG---CTCCAACCAAACACAAGATAAAATAATTCCGCATTTTATCCCAAAATTATTATA   219
R8 S. okadae    TGG---CTCCAACCAAACACAAGATAAAATAATTCCGCATTTTATCCCAAAATTATTATA   208
                       *** **  * **    *** *** *     *    * *  *  * * *** *

R8 S. demissum      AAATATGAAAATGCACAAGTTGTGAAAACTTTGAAATTCAATTCTTATGCAATTTTACCA   63774
R8 S. okadae        AAATATGAAAATGCACAAGTTGTG-AAACTTTGAAATTCAATTCTTATGCAATTTTACCA   488
R8 24-1             AAATATGAAAATTCACAAGTTGTG-AAACTTTGAAATTCAATTCTTATGCAATGTTACCG   488
R8 S. alandiae      AAATATGAAAATTCACAAGTTGTG-AAACTTTGAAATTCAATTCTTATGCAATGTTACCG   488

R8 S. demissum      AATGAGTAAATCATTTCGTTAACAAGATATCATAATATCTAAAGCATCGCATCGATGAAT   63834
R8 S. okadae        AATGAGTAAATCATTTCGTTAACAAGATATCATAATATCTAAAGCATCGCATCGATGAAT   548
R8 24-1             AATGAGTAAATCATTTCGTTAACAAGATATCATAATATCTAAAGCATCGCATCGATGAAT   548
R8 S. alandiae      AATGAGTAAATCATTTCGTTAACAAGATATCATAATATCTAAAGCATCGCATCGATGAAT   548

R8 S. demissum      TATATATCTTTATGTTTCTTTTAACTTTCAAATGTACATAAACTTATAAAGATCCACTAG   63894
R8 S. okadae        TATATATCTTTATGTTTCTTTTAACTTTC-AATGTACATAAACTTATAAAGATCCACTAG   607
R8 24-1             TACATATCTTTATGTTTCTTTTAACTTTC-AATGTACATAAACTTAT-AAGATCCACTAG   606
R8 S. alandiae      TACATATCTTTATGTTTCTTTTAACTTTC-AATGTACATAAACTTAT-AAGATCCACTAG   606
```

Fig. 6. **Structural homology between the cloned marker fragment R8-1276 from *Solanum alandiae* accession k-20408, hybrid 24-1 comprising *S. alandiae* germplasm, and the prototype gene *R8* from *S. demissum* (KU530153); *Sw5b*, *R8* analogue from *S. lycopersicum* (AY007366).**
For other notations see Fig. 2

Рис. 6. **Сравнение нуклеотидных последовательностей клонированного маркерного фрагмента R8-1276 из образца к-20408 *Solanum alandiae*, гибрида 24-1, содержащего генетический материал *S. alandiae*, и гена-прототипа *R8* из *S. demissum* (KU530153); *Sw5b* - аналог *R8* из *S. lycopersicum* (AY007366).**
Другие обозначения как на рис. 2

```
R2 S. demissum            TCTTTGACATTTATGATCCAAGAAGCCACTCCATATCCTCTTTATGTATCAGACATGGCA   1561
R2 S. alandiae            TCTTTGACGTTTATGGTCCAAGAAGCCACTCCATATCCTCTTTATGTATCAGACATGGCA   177
R2 S. okadae              TCTTTGACGTTTATGGTCCAAGAAGCCACTCCATATCCTCTTTATGTATCAGACATGGCA   177
Rpi-blb3 S. bulbocastanum TCTTTGACGTTTATGGTCCAAGAAGCCACTCCATATCCTCTTTATGTATCAGACATGGCA   4499
                          ******** ****** *******************************************

R2 S. demissum            TTCATAGTGAAGGAGAAAGGTACCTCTCATCACTTGATCTTTCTAACTTGAAGTTGAGGT   1621
R2 S. alandiae            TTCATAGTGAAGGAGAAAGGTACCTCTCATCACTTGATCTTTCTAACTTGAAGTTGAGGT   237
R2 S. okadae              TTCATAGTGAAGGAGAAAGGTACCTCTCATCACTTGATCTTTCTAACTTGAAGTTGAGGT   237
Rpi-blb3 S. bulbocastanum TTCATAGTGAAGGAGAAAGGTACCTCTCATCACTTGATCTTTCTAACTTGAAGTTGAGGT   4559
                          ************************************************************

R2 S. demissum            CAATTATGTTCTTCGATCCATATATTTGTAATGTGTTCC------AACATATAGATGTGT   1675
R2 S. alandiae            CAATCATGTTCTTCGATCCAGATTTTCGTAAGATGAGTCATATAAACCTCAGGAGTGTGT   297
R2 S. okadae              CAATCATGTTCTTCGATCCAGATTTTCGTAAGATGAGTCATATAAACCTCAGGAGTGTGT   297
Rpi-blb3 S. bulbocastanum CAATTATGTTCTTCGATCCAGATTTTCGTAAGATGAGTCATATAAACCTCAGGAGTGAGT   4619
                          **** *************** ** ** ****  **   *      * *  *    ** **
```

Fig. 7. Structural homology between the cloned marker fragment R2-686 from *Solanum alandiae* accession k-18437 and *S. okadae* accession k-25397, the prototype gene *R2* from *S. demissum* (FJ536325), and its orthologue *Rpi-blb3* from *S. bulbocastanum* (FJ536346).

For other notations see Fig. 2

Рис. 7. Сравнение нуклеотидных последовательностей клонированного маркерного фрагмента R2-686, из образцов к-18437 *Solanum alandiae* и к-25397 *S. okadae*, гена-прототипа *R2* из *S. demissum* (FJ536325) и его ортолога *Rpi-blb3* из *S. bulbocastanum* (FJ536346).

Другие обозначения как на рис. 2

Conclusion

The comparative SCAR marker analysis of *S. alandiae* and *S. okadae* accessions in the VIR collection discovered several structural homologues of already known *Rpi* genes. When analyzing these data, two caveats are appropriate. First, we dealt with rather short DNA fragments, which never covered more than one third of the complete gene sequence. Secondly, even when these fragments were translatable, the proof of functionality of *Rpi* homologues in *S. alandiae* and *S. okadae* must await further studies by independent methods. Our data match the evidence that the *Rpi-vnt1* gene is specific to South American species of series *Tuberosa* (Pel, 2010) and is absent in Mexican *S. verrucosum* (Chen et al., 2018), despite the fact that the latter species is often grouped with South American *Tuberosa* germplasm (Hardigan et al., 2015). Other *Rpi* homologues found in *S. alandiae* and *S. okadae* resemble the *R2*, *R8*, *R9* and *Rpi-blb2* genes of Mexican species *S. demissum* and *S. bulbocastanum.* An *Rpi-mcd1* gene orthologous to *R2* but distinct in its chromosomal localization was reported in South American species *S. microdontum* (Hein et al., 2009; Rodewald, Trognitz, 2013; Vossen et al., 2014; van Weymers et al., 2016; Aguilera-Galvez et al., 2018); however, the sequence of *Rpi-mcd1* has not yet been published. South American homologues of *Rpi* genes reported here for the first time are notably distinct from their Mexican prototypes. Among the *Rpi* homologues found in *S. alandiae* and *S. okadae*, especially promising for potato breeders are those resembling the genes of broad specificity toward *P. infestans* races, such as *R2 / Rpi-blb3*, *R8*, *R9*, *Rpi-vnt1* and *Rpi-blb2*. In this context, it seems proper to mention our evidence that the presence of an *Rpi-vnt1* marker significantly correlated with superior LB resistance.

Our search for new sources of *Rpi* genes among wild *Solanum* species takes us to two entwined issues of evolutionary genomics of the tuber-bearing *Solanum*: genome and species evolution in the section *Petota* and the origin of *Rpi* genes associated with the evolution of *P. infestans* – potato interactions often resulting in LB outbursts. In this context, the genes for defense against pests and diseases in *S. alandiae* and *S. okadae* are especially interesting as regards the evolution of the tuber-bearing *Solanum*. J. G. Hawkes (1990) emphasized close relations of these two species with *S. microdontum* and resemblance of *S. okadae* to the Argentinian endemic *S. venturii*. The areas of distribution of the two latter species are located in neighboring highlands of Bolivia and northwestern Argentina. *S. alandiae* is a Bolivian endemic from the bordering Departments of Cochabamba, Santa Cruz and Chuquisaca, with its plants growing in contrasting climates of cold and hot dry grasslands and warm and wet territories (Fuentes, 2014). The area of *S. okadae* is disjunct. In Bolivia, it is an endangered species, with few tiny islands in the Departments of Cochabamba and La Paz. Here, its natural habitat is alpine wet meadows and forests, where plants are affected by LB (Coca Morante, Castillo Plata, 2007). The Argentinian part of the *S. okadae* area of distribution is in the Provinces of Jujuy and Salta. On the basis of molecular evidence, the Argentinian *S. okadae* accessions have been recently identified as *S. venturii* (PBI *Solanum* Project, 2020). These data presume independent evolution of *S. alandiae* and *S. okadae / S. venturii*.

All presently characterized *Rpi* genes belong to the CC-NB-LRR structures, with their evolution widely researched in tuber-bearing *Solanum* species (Hein et al., 2009; Pel, 2010; Jupe et al., 2012; Rodewald, Trognitz, 2013; Aguilera-Galvez et al., 2018). These species are primarily found in the Mexican and Andean centers of *Petota* diversity (Spooner et al., 2014; Hardigan et al., 2017), where they successfully cohabit with local *P. infestans* races (Grünwald, Flier, 2005; Fry, 2016). Many aspects of *Petota* evolution and *Rpi* gene geography are hotly debated (Vossen et al., 2014; Spooner et al., 2014; Hardigan et al., 2015; Hardigan et al., 2017), and our data may supplement the research into divergence of *Rpi* genes as related to the evolution of *Solanum* species, emergence of tuber-bearing forms and their distribution between two Americas. An impressive illustration of the latter issue is the presumably reciprocal segregation of the *Rpi-blb1* and *Rpi-vnt1* genes between the Mexican and Andean species, respectively.

This study was supported by State Task No. 0574-2019-0001 and the Russian Foundation for Basic Research (Projects 18-016-00138a and 20-515-10001 KOa). The assessment of late blight resistance in potato cultivars and hybrids was supported by State Task No. 0598-2019-0003. The authors are grateful to the Center for Collective Use of Equipment "Biotechnology" at the Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, for sequencing Solanum *genome fragments.*

References/Литература

Aguilera-Galvez C., Champouret N., Rietman H., Lin X., Wouters D., Chu Z. et al. Two different *R* gene loci co-evolved with *Avr2* of *Phytophthora infestans* and confer distinct resistance specificities in potato. *Studies in Mycology*. 2018;89:105-115. DOI: 10.1016/j.simyco.2018.01.002

Armstrong M.R., Vossen J., Lim T.Y., Hutten R.C.B., Xu J., Strachan S.M. et al. Tracking disease resistance deployment in potato breeding by enrichment sequencing. *Plant Biotechnology Journal*. 2019;17(2):540-549. DOI: 10.1111/pbi.12997

Bethke P.C., Halterman D.H., Jansky S.H. Potato germplasm enhancement enters the genomics era. *Agronomy*. 2019;9(10):575. DOI: 10.3390/agronomy9100575

Bhardwaj V., Dalamu, Srivastava A.K., Sharma S., Kumar V., Kaushik S.K. et al. Late blight resistance status in wild potato species against Indian population of *Phytophthora infestans. Indian Journal of Horticulture*. 2018;75(1):99-104. DOI: 10.5958/0974-0112.2018.00017.8

Chen X., Lewandowska D., Armstrong M.R., Baker K., Lim T.Y., Bayer M. et al. Identification and rapid mapping of a gene conferring broad spectrum late blight resistance in the diploid potato species *Solanum verrucosum* through DNA capture technologies. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131:1287-1297. DOI: 10.1007/s00122-018-3078-6

Coca Morante M., Castillo Plata W. Wild potato species threatened by extinction in the Department of Laz Paz, Bolivia. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 2007;5(4):487-496. DOI: 10.5424/sjar/2007054-271

Cooke D.E.L., Cano L.M., Raffaele S., Bain R.A., Cooke L.R., Etherington G.J. et al. Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish Potato Famine pathogen. *PLoS Pathogens*. 2012;8(10):e1002940. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002940

Fadina O.A., Beketova M.P., Sokolova E.A., Kuznetsova M.A., Smetanina T.I., Rogozina E.V. et al. Anticipatory breeding: molecular markers as a tool in developing donors of potato (*Solanum tuberosum* L.) late blight resistance from complex interspecific hybrids. *Agricultural Biology*. 2017;52(1):84-94. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.1.84eng

Fry W.E. *Phytophthora infestans*: New tools (and old ones) lead to new understanding and precision management. *Annual Review of Phytopathology*. 2016;54:529-547. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080615-095951

Fuentes X.C. Conserving the genetic diversity of Bolivian wild potatoes [dissertation]. Wageningen: Wageningen University & Research; 2014. Available from: https://edepot.wur.nl/323230 [accessed Jan. 08, 2020].

Grünwald N.J., Flier W.G. The biology of *Phytophthora infestans* at its center of origin. *Annual Review of Phytopathology*. 2005;43:171-190. DOI: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135906

Haesaert G., Vossen J.H., van Droogenbroeck B., Custers R., De Loose M., Landschoot S. et al. Transformation of the potato variety Désirée with single or multiple resistance genes increases resistance to late blight under field conditions. *Crop Protection*. 2015;77:163-175. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.07.018

Hardigan M.A., Bamberg J., Buell C.R., Douches D.S. Taxonomy and genetic differentiation among wild and cultivated germplasm of *Solanum* sect. *Petota*. *The Plant Genome*. 2015;8(1). DOI: 10.3835/plantgenome2014.06.0025

Hardigan M.A., Laimbeer F.P.E., Newton L., Crisovan E., Hamilton J.P. Vaillancourt B. et al. Genome diversity of tuber-bearing *Solanum* uncovers complex evolutionary history and targets of domestication in the cultivated potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2017;114(46):E9999-E10008. DOI: 10.1073/pnas.1714380114

Hawkes J.G. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. London: Belhaven Press; 1990.

Hein I., Birch P.R.J., Danan S., Lefebvre V., Odeny D.A., Gebhardt C. et al. Progress in mapping and cloning qualitative and quantitative resistance against *Phytophthora infestans* in potato and its wild relatives. *Potato Research*. 2009;52(3):215-227. DOI: 10.1007/s11540-009-9129-2

Jiang R., Li J., Tian Z., Du J., Armstrong M., Baker K. et al. Potato late blight field resistance from QTL dPI09c is conferred by the NB-LRR gene *R8. Journal of Experimental Botany*. 2018;69(7):1545-1555. DOI: 10.1093/jxb/ery021

Jo K., Visser R.G.F., Jacobsen E., Vossen J.H. Characterisation of the late blight resistance in potato differential Ma*R9* reveals a qualitative resistance gene, *R9a*, residing in a cluster of *Tm-2* (2) homologs on chromosome IX. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(5):931–941. DOI: 10.1007/s00122-015-2480-6

Jupe F., Pritchard L., Etherington G.J., Mackenzie K., Cock P.J.A., Wright F. et al. Identification and localisation of the NB-LRR gene family within the potato genome. *BMC Genomics*. 2012;13:75. DOI: 10.1186/1471-2164-13-75

Kim H.J., Lee H.R., Jo K.R., Mortazavian S.M.M., Huigen D.J., Evenhuis B. et al. Broad-spectrum late blight resistance in potato differential set plants Ma*R8* and Ma*R9* is conferred by multiple stacked *R* genes. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;124(5):923–935. DOI: 10.1007/s00122-011-1757-7

Muratova (Fadina) O.A., Beketova M.P., Kuznetsova M.A., Rogozina E.V., Khavkin E.E. *Solanum alandiae* as a potential source of late blight resistance genes. In: H.T.A.M. Schepers (ed.). *Proceedings of the Seventeenth EuroBlight Workshop. WUR Special Report No. 19.* Wageningen: Wageningen University & Research; 2019. p.217-226. Available from: https://agro.au.dk/fileadmin/euroblight/Workshops/Proceedings/Special_Report_19_Totaal_LR.pdf [accessed Feb. 25, 2020].

PBI *Solanum* Project. *Solanaceae Source*. *Solanum okadae*. 2013. Available from: http://solanaceaesource.org/content/solanum-okadae [accessed Jan. 08, 2020].

Pel M.A. Mapping, isolation and characterization of genes responsible for late blight resistance in potato [dissertation]. Wageningen: Wageningen University & Research; 2010. Available from: https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/392076 [accessed Jan. 08, 2020].

Pérez W.A.S., Salas A., Raymundo R., Huaman Z., Nelson R., Bonierbale M. Evaluation of wild potato species for resistance to late blight. In: *Scientist and Farmer: Partners in Research for the 21st Century: Program Report 1999–2000*. Lima, Peru: CIP; 2001. p.49-62. Available from: https://books.google.ru/books?id=GVBCnXl_hWIC&pg=PA49&hl=ru&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false [accessed Jan. 08, 2020].

Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L.M., Lee H.R., Vossen J.H., Jacobsen E. et al. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors.

Molecular Plant–Microbe Interaction. 2012;25(7):910-919. DOI: 10.1094/MPMI-01-12-0010-R

Rodewald J., Trognitz B. *Solanum* resistance genes against *Phytophthora infestans* and their corresponding avirulence genes. *Molecular Plant Pathology*. 2013;14(7):740-757. DOI: 10.1111/mpp.12036

Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kuznetsova M.A., Demidova V.N., Rogozhin A.N., Smetanina T.I. et al. Late blight resistant potato hybrid clones in the VIR collection of plant genetic resources. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):278-292. [in Russian] (Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Кузнецова М.А., Демидова В.Н., Рогожин А.Н., Сметанина Т.И. и др. Устойчивые к фитофторозу гибридные клоны картофеля в коллекции генетических ресурсов растений ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):278-292). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-278-292

Sokolova E., Pankin A., Beketova M., Khavkin E., Yashina I., Kuznetsova M. et al. SCAR markers of the *R*-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genetic Resources: Characterisation and Utilisation.* 2011;9(2):309-312. DOI: 10.1017/S1479262111000347

Spooner D.M., Ghislain M., Simon R., Jansky S.H., Gavrilenko T. Systematics, diversity, genetics, and evolution of wild and cultivated potatoes. *The Botanical Review*. 2014;80(4):283-383. DOI: 10.1007/s12229-014-9146-y

Van der Vossen E.A.G., Gros J., Sikkema A., Muskens M., Wouters D., Wolters P. et al. The *Rpi-blb2* gene from *Solanum bulbocastanum* is an *Mi-1* gene homolog conferring broad-spectrum late blight resistance in potato. *The Plant Journal*. 2005;44(2):208-222. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02527.x

Van Weymers P.S.M., Baker K., Chen X., Harrower B., Cooke D.E.L., Gilroy E.M. et al. Utilizing "Omic" technologies to identify and prioritize novel sources of resistance to the oomycete pathogen *Phytophthora infestans* in potato germplasm collections. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:672. DOI: 10.3389/fpls.2016.00672

Vossen J.H., Jo K.R., Vosman B. Mining the genus *Solanum* for increasing disease resistance. In: R. Tuberosa (ed.). *Genomics of Plant Genetic Resources*. Dordrecht: Springer; 2014. p. 27-46. DOI: 10.1007/978-94-007-7575-6_2

Vossen J.H., van Arkel G., Bergervoet M., Jo K.R., Jacobsen E., Visser R.G.F. The *Solanum demissum R8* late blight resistance gene is an *Sw-5* homologue that has been deployed worldwide in late blight resistant varieties. *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129(9):1785-1796. DOI: 10.1007/s00122-016-2740-0

Wang M., Allefs S., van den Berg R.G., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E.A.G., Vosman, B. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of *Rpi-blb1* are identified in *Solanum stoloniferum. Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(7):933-943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3

Zoteyeva N.M. Late blight resistance of wild potato species under field conditions in the Northwest of Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):159-169. [in Russian] (Зотеева Н.М. Устойчивость диких видов картофеля к фитофторозу в полевых условиях Северо-Запада РФ. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):159-169). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-159-169

Zoteyeva N., Chrzanowska M., Flis B., Zimnoch-Guzowska E. Resistance to pathogens of the potato accessions from the collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR). *American Journal of Potato Research*. 2012;89(4):277-293. DOI: 10.1007/s12230-012-9252-5

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

Муратова (Фадина) О.А., Бекетова М.П., Кузнецова М.А., Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Южноамериканские виды *Solanum alandiae* Card. и *S. okadae* Hawkes et Hjerting как потенциальные источники генов устойчивости к фитофторозу картофеля. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):73-83. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-73-83

Muratova (Fadina) O.A., Beketova M.P., Kuznetsova M.A., Rogozina E.V., Khavkin E.E. South American species *Solanum alandiae* Card. and *S. okadae* Hawkes et Hjerting as potential sources of genes for potato late blight resistance. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):73-83. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-73-83

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/10.30901/2227-8834-2020-1-73-83

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
Muratova (Fadina) O.A. https://orcid.org/0000-0002-6600-1693
Beketova M.P. https://orcid.org/0000-0002-3104-5303
Kuznetsova M.A. https://orcid.org/0000-0002-9880-5995
Rogozina E.V. https://orcid.org/0000-0002-2743-068X
Khavkin E.E. https://orcid.org/0000-0001-9177-3997

Domestication of *Avena magna* Murphy et Terrell: a wild tetraploid oat species endemic of Morocco

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-84-92
CC BY
УДК 633.16:631.52.
Поступление/Received: 27.12.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

N. SAIDI[1]*, N. SHAIMI[1], A. S. IDRISSI[1], A. SOUIHKA[2], F. GABOUN[3], C. AL FAIZ[1], G. LADIZINSKY[4]

[1] INRA, RU Plant breeding, Conservation and Valorisation of Plant Genetic Resources, RCAR-Rabat, P.O. Box 6570, Rabat Institutes, 10101 Rabat, Morocco
** ✉ nezsaidi@yahoo.fr*

[2] INRA, RCAR-Rabat, Experimental domaine of Koudia, Mohamed Belarbi Alaoui Street, P.O. Box 6356, Rabat Institutes, 10101, Rabat, Morocco

[3] INRA, RU of Biotechnology and Bioinformatics, Mohamed Belarbi Alaoui Street, P.O. Box: 6356, Rabat Institutes, 10101 Rabat, Morocco

[4] USAID, Project No. TAMOU 97-053, Washington, DC 20523, USA

Введение в культуру дикорастущего тетраплоидного вида овса *Avena magna* Murphy et Terrell, эндемика Марокко

Н. САИДИ[1]*, Н. ШАИМИ[1], А. С. ИДРИССИ[1], А. СУИХКА[2], Ф. ГАБУН[3], С. АЛЬ ФАИЗ[1], Г. ЛАДИЗИНСКИЙ[4]

[1] Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Научный департамент селекции растений, сохранения и оценки генетических ресурсов растений, RCAR-Рабат, п/я 6570, Институты Рабата, 10101 Рабат, Марокко
** ✉ nezsaidi@yahoo.fr*

[2] Национальный институт сельскохозяйственных исследований, RCAR-Рабат, Опытное имение Кудья, ул. Мохамеда Беларби Алауи, п/я 6356, Институты Рабата, 10101 Рабат, Марокко

[3] Национальный институт сельскохозяйственных исследований, Научный департамент биотехнологии и биоинформатики, ул. Мохамеда Беларби Алауи, п/я 6356, Институты Рабата, 10101 Рабат, Марокко

[4] АМР США, проект № TAMOU 97-053, г. Вашингтон 20523, США

Avena magna Murphy et Terrell (2n = 4x = 28), a tetraploid oat species endemic of Morocco, has a high groat protein content (more than 20%), good resistance to diseases and good adaptability to the Mediterranean edaphic and climate conditions. Moreover, this taxon is morphologically similar to the hexaploid oat species *A. sativa* and promising for interspecific crosses with *A. sativa* in order to transfer the domestication syndrome into it. Four hybridization cycles employing four accessions of *A. magna* and five Moroccan hexaploid oat cultivars of *A. sativa* were accomplished to domesticate *A. magna*. Morphological characterization and cytogenetic analysis of derivative hybrid seeds were made to determine their ploidy level and select the seeds with 2n = 28. The overall combinations yielded 81 hybrid plants with 2n varying from 28 to 29, with 58% having 2n = 28, and pollen fertility over 85%. However, 27 hybrids yielded a seed set ranging from 20 to 80%. Selected hybrid plants were subjected to pedigree selection in the field until they reached the 8th generation and assessed for agronomic performance. Three domesticated lines of tetraploid oat *A. magna* were selected for their good disease resistance. Analysis of groat protein content in the selected hybrids using the Kjeldahl method showed that it was 2 to 3% higher than in their parents.

Key words: oats, common oat, groat protein content, Kjeldahl analysis, human consumption.

Тетраплоидный дикий вид овса *Avena magna* Murphy et Terrell (2n = 4x = 28), эндемик Марокко, имеет высокое содержание белка в зерне (более 20%), высокую устойчивость к болезням и хорошую адаптивность к почвенно-климатическим условиям Средиземноморья. Морфологически этот вид сходен с гексаплоидным культурным видом овса *A. sativa* L., который и был использован в межвидовых скрещиваниях для одомашнивания дикого вида. Для внесения в дикий вид признаков культурного овса провели четыре цикла скрещиваний с участием четырех образцов *A. magna* и пяти марокканских гексаплоидных сортов *A. sativa*. Для отбора гибридных растений с числом хромосом 2n = 28 использовали морфологические характеристики и цитогенетический анализ.
По всем комбинациям получено 81 гибридное растение, с числом хромосом (2n) от 28 до 29. Только 58% гибридных растений имели 28 хромосом и фертильность пыльцы более 85%. Отобранные гибридные растения подвергались дальнейшему отбору в поле по агробиологическим показателям до поколения F_8. В результате изучения по признаку устойчивости к болезням отобраны три одомашненные линии тетраплоидного овса *A. magna*. Анализ содержания белка в зерне с использованием метода Кьельдаля у отобранных гибридных линий показал, что он на 2–3% выше, чем у родительских форм.

Ключевые слова: овес посевной, содержание белка в зерне, анализ Кьельдаля, пищевое направление.

Introduction

Since the first century of our era, oats have become a major crop in Europe and in certain other Mediterranean regions. Recently, too much interest was given to this cereal since it has a caryopsis rich in protein up to 22% which is the highest value for *Avena sativa* L. (Ladizinsky, Fainstein, 1977) in addition to other components, such as oil which can reach 18.1% in some lines of *A. sativa* (Welch et al., 2000). Nutritive quality of this cereal has increased, in contrast to wheat and barley; lysine and tryptophan concentrations in oats are significantly high and adequate for a balanced nutritive diet designated for non-ruminant animals such as horse.

Oats are used in different forms: as a pure crop, green forage, hay, silage, grain and straw. In Morocco, oats are used as forage and seem to play a role for dairy cattle breeding mainly in the North-West of Morocco. It remains the most important cultivated crop for populations living in marginal lands in developing countries (Al Faiz et al., 1997). It has a high nutritive value as forage with good digestibility of dry matter exceeding 75%. Stevens et al. (2004) reported that oat hay has more digestible organic matter, more appreciated by cattle.

Oats grains are notable for high groat protein content, with a high nutritive value, and a good rate of oils, in addition to other compounds that exert good beneficial effects on health, such as antioxidants and vitamins (avenanthramides and tocols) (Mannerstedt et al., 2004; Saidi et al., 2013; Benchekroun et al., 2014). Clamot (1979) and Welch et al. (2000) have reported that oat groat protein is unique among those of other cereals grown in temperate regions, as it has a relatively good balance of amino acids, which remains stable even if the rate of groat protein is increased by genetic manipulations. Oat groat is also richer in oil, compared to other cereals. Oat groat increases the energy density, being rich in unsaturated fatty acids, and has a good potential for industrial extraction as a biofuel (Zhu et al., 2004). In addition, oat groat contains significant amounts of (1-3), (1,4)-β-D-glucan (Manzali et al., 2018). This substance is the main component responsible for decreasing plasma cholesterol which attracted the attention of processors and plant breeders (Welch et al., 2000). Recent medical reports confirm that fiber consumption prevents intestine and colon cancers. Due to its valuable components, oat producers have increased the production of this cereal since the 1990s and promoted it as a beneficial food for human health (Harlan, 1992).

Due to its beneficial effects on human health, more attention was given to this cereal, therefore the demand for oat seed is permanently increasing. This led to boosting new breeding research programs to release new cultivars for human consumption. In order to succeed in the release of new lines with high nutritive value, responding to all technological food criteria, it is necessary to employ wild oat genetic resources, since they constitute a rich reservoir of valuable genes. Among these wild oat species, *A. magna* Murphy et Terrell is a tetraploid oat species (2n = 4x = 28), discovered 28 years ago and native to Morocco. This taxon is morphologically similar to hexaploid oat species and it is difficult to distinguish it from *A. sterilis* L. According to Rajhathy and Sadasivaiah (1969), *A. magna* had been involved in the origin of hexaploid species. It has a groat protein content reaching 30%, good oil content and large seeds (1000 seed weight ≈ 35 g). Since it is endemic to Morocco, *A. magna* has good resistance to diseases threatening oat cultivation, such as powdery mildew, crown rust and barley yellow dwarf virus. In addition, it has good tillering productivity (Ladizinsky 1993; Loskutov, 2001) and good adaptability to Moroccan soil and climate conditions.

Because of its impressive characteristics, this tetraploid taxon has been domesticated recently by transferring into it the domestication syndrome of the common oat *A. sativa*. The transferred characters were the non-shedding spikelets, glabrous and yellow lemma, and reduced awn formation. The domestication was achieved by crossing the common oat with the tetraploid species and then backcrossing the pentaploid hybrids with pollen of the tetraploid wild parent (Ladizinsky, 1995). Therefore, in the early 2000s, a research programme was boosted by INRA aiming to domesticate the tetraploid oat species *A. magna* by transferring the diversity of the Moroccan common oat cultivars into it, and release tetraploid oat lines developed for human consumption.

Methodology

The hybridization work involved five Moroccan common oat cultivars of *A. sativa*, registered in the national official catalogue ('Soualem', 'Amlal', 'Ghali', 'Tissir' and 'Zahri') and four accessions of *A. magna* (P1-1, P1-6, Aa2 and Aa16). *A. magna* P1-1 and P1-6 are the derivatives of the crosses accomplished previously between 'Soualem' and wild accessions of *A. magna* (158 and 169, respectively) originating from Morocco (Ladizinsky, 1995).

Seeds of both *A. sativa* cultivars and *A. magna* accessions were germinated in Petri dishes and transplanted into Jiffy pots under controlled greenhouse environmental conditions to prepare plants for hybridization crosses (mean temperature = 24°C). Backcrosses of the derivative hybrids to their tetraploid parents were performed in the greenhouse as well as in the field at the INRA experimental domain in Marchouch (60 km SE Rabat, altitude = 400 m, longitude = 6°42', latitude = 33°45', and annual rainfall = 242–650 mm). Each year we implemented two hybridization cycles, a winter generation and a summer one. Four hybridization cycles were undertaken, the first and the third were achieved manually under controlled environmental conditions in a greenhouse, aiming to backcross the pentaploid hybrids to respective common oat cultivars. The second hybridization cycle aimed to backcross the pentaploid hybrid seeds, derivatives of the crosses between *A. sativa* cv. 'Soualem' and *A. magna* P1-1 and P1-6, to their tetraploid parents, respectively. As for the fourth hybridization cycle, derivative hybrid seeds of the third cycle were pollinated by the derivative hybrid plants of the second hybridization cycle. After the second and the fourth hybridization cycles we proceeded to:

1. Chromosome counting in root tips in order to select the hybrid seeds with tetraploid chromosome number (2n = 4x = 28) (Singh, 1992).
2. Assessment of pollen stainability (Singh, 1992) and seed set for the derivative plants.

Morphological seed characterization

Derivative hybrid seeds were subjected to morphological characterization to examine lemma color, lemma hairiness,

presence or absence of awns, and awn development. Lemma color was classified as yellow or as various degrees of coloration; lemma pubescence as glabrous or as various degree of hairiness; and awn number as presence of awns, absence of awns, one or two awns per spikelet (Ladizinsky, 1995).

Selection method

Collected seeds from each single hybrid plant having (2n = 4x = 28) issued from the fourth hybridization cycle were planted as F_2 generation at the INRA experimental station in Marchouch (68 km SE Rabat, Morocco, longitude: 6° 71 500 W, latitude: 33° 60 499 N), and subjected to pedigree selection. Selection was primarily based on resistance/tolerance to diseases, mainly crown rust, powdery mildew and BYDV.

Groat protein analysis

Seeds of the derivative lines, in addition to their respective tetraploid and hexaploid parents, were assessed for groat protein content using the conventional Kjeldahl method of chemical analysis (DIN ISO 1578, 2001).

Statistical analysis was made using SAS software version 9.1.

Results and discussion

Second hybridization cycle

The pentaploid hybrid seeds, derivative of the first crosses, achieved previously by Ladizinsky (1995), between *A. sativa* cv. 'Soualem' with each of the accessions of *A. magna* P1-1 and P1-6, were backcrossed to their tetraploid parents and yielded 18 and 59 hybrid seeds, respectively. Chromosome number of the hybrid seeds derived from the crosses involving P1-1 ranged from 2n = 28 to 41. Only two plants had the tetraploid chromosome number (2n = 4x = 28), pollen fertility of 94% and 97%; and a seed set of 36% and 87%, respectively. Seeds derivatives of the cross involving 'Soualem' and P1-1 are scored 'B'.

The backcross involving P1-6 yielded 59 hybrid plants with 2n ranging from 28 to 41, pollen fertility ranging from 27% to 98%, and a seed set varying from 0% to 98%. Among the yielded hybrids, 17% were tetraploids with pollen fertility ranging from 43% to 96%, and a seed set from 0% to 90% (only two plants had a good seed set of 52% and 90%, respectively). Seeds derivatives of the cross involving 'Soualem' and P1-6 are scored 'C'.

Seed morphology of the tetraploid derivative seeds was similar to the one of their hexaploid parents. For the cross with P1-1, seeds had basic lemma hairiness, a yellowish lemma, and only one developed awn. As for the derivatives of the cross with P1-6, seed morphology of the hybrid seeds did not differ from the derivative seeds of the cross with P1-1.

Fourth hybridization cycle

The overall combinations of the fourth hybridization cycle yielded 236 hybrid plants, with 2n varying from 2n = 28 to 42. Crosses between different hexaploid cultivars of *A. sativa* and the derivatives of the cross which involved P1-6 yielded more tetraploid hybrid seeds (101 individuals), compared to the cross with derivatives of P1-1 (40 individuals). The most yielding cross of tetraploid seeds was the cross involving 'Amlal' (76 seeds), followed by 'Soualem' (29 seeds), 'Ghali' (24 seeds), 'Zahri' (9 seeds), and Tissir (1 seed). Crosses between 'Amlal' or 'Soualem' with the derivatives of P1-1 were the most yielding ones compared to the crosses achieved with the other cultivars (23 and 16 seeds, respectively) (Table 1).

Table 1. Frequency distribution of chromosome numbers among BC plants of the 4th hybridization cycle involving *Avena magna*

Таблица 1. Распределение числа хромосом у гибридных растений BC_4 с участием *Avena magna*

Combinations	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36-42	Total
A × B91	1	23	2	1	1	2	1	1	0	0	**31**
A × C05		7	0	0	0	0	0	0	0	1	**8**
A × C21	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	**8**
A × C90		23	4	2	0	1	1	0	0	1	**32**
G × C05		24	5	0	2	0	0	0	0	2	**33**
S × B55		1				0	0	0	0		**1**
S × B91	0	16	10	4	3	1	2	1	3	0	**40**
S × C05	1	10	2	5	0	2	0	0	0	1	**20**
S × C21	1	9	2	2	1	0	0	0	1	1	**16**
S × C90		10	2	1	1	2	1	1	0	1	**19**
T × C34		1		0	0	0	2	0	0	0	**3**
Z × C05	1	7	1	2	1	2	3	0	0	0	**16**
Z × C34		2	0	1	0	0	1	0	1	0	**5**
Total	**4**	**141**	**28**	**18**	**9**	**10**	**11**	**3**	**5**	**7**	**236**

Pollen fertility ranged from 0 to 99%. Among the derivative hybrid plants, 59% were tetraploids, 75% of which had pollen fertility over 90%. Among the derivative hybrid plants, 96% had reached maturity and 50% had set seeds (1–100% seed set). Only 18% had a seed set over 50%. Hybrids with the tetraploid chromosome number represented 79%, and 20% among them set seeds over 50%.

Analysis of variance for quantitative parameters (2n, pollen fertility, seed set, and number of awns per spikelet) within and between groups of combinations revealed that no significant differences in the chromosome number (2n), pollen fertility (PF) or seed set (SS) was detected within the groups. However, a highly significant difference between groups of combinations for 2n was revealed. Derivative hybrids were significantly different in the number of awns per spikelet (Nb. Awns/Sp). As for the seed set, no significant difference within and between groups was detected (Tables 2, 3).

Lemma pubescence, number of awns and awn development deviated significantly from the expected 3:1 ratio in most of the combinations (Table 4).

Analysis of segregation in spikelet characters for all hybrid derivatives within each combination revealed that lemma hairiness and lemma color were significantly and negatively correlated ($P < 0.001$) as for the number of awns per spikelet and awn development. No correlation was detected between lemma hairiness and awn development or between the number of awns and lemma hairiness (Table 5).

F_2

Eighty one hybrid plants had chromosome numbers varying from 28 to 29. Among them, 58% were tetraploids (2n = 4x = 28) with pollen fertility exceeding 85%. However, 27 hybrid plants had a set seed ranging from 20 to 80%. Selected hybrid plants were subjected to pedigree selection in the field until reaching genetic stability in the 8th generation. Selected lines showed good agronomic performance and therefore were assessed for groat protein content.

Table 2. Analysis of variance within and between groups of combinations for quantitative parameters

Таблица 2. Дисперсионный анализ внутри и между группами комбинаций по количественным параметрам

		P			
Groups of combinations	**DF**	**2n**	**Nb. Awns/Sp.**	**SS**	**PF**
A	3	0.108 n.s	0.814 n.s	0.770 n.s	0.272 n.s
S	4	0.436 n.s	0.023*	0.854 n.s	0.486 n.s
Z	1	0.828 n.s	0.934 n.s	0.358 n.s	0.486 n.s
Global	12	0.005**	0.040*	0.369 n.s	0.040*

Note: *** Significant at the 0.05, 0.01 probability level.
Nb. Awns/Sp.: number of awns/spikelet; SS: seed set; PF: pollen fertility.
A = (A × B91, A × C90, A × C05, A × C21); S = (S × B55, S × B91, S × C90, S × C05, S × C21); Z = (Z × C05, Z × C34) ;
Global = (all 4th hybridization cycle combinations)

Table 3. Statistical parameters for quantitative variables within and between combinations

Таблица 3. Статистические параметры количественных переменных внутри и между комбинациями

Variables	**Mean + SE**			
	A	**S**	**Z**	**Global**
2n	29.202 ± 0.311	29.757 ± 0.230	30.928 ± 0.610	29.676 ± 0.169
Nb. Awns	0.910 ± 0.034	0.821 ± 0.042	0.821 ± 0.073	0.867 ± 0.023
SS	14.910 ± 2.232	15.264 ± 2.173	11.965 ± 3.176	15.664 ± 1.363
PF	76.815 ± 3.874	72.526 ± 3.604	55.00 ± 8.238	74.347 ± 2.296

Note: Nb. Awn/Sp.: number of awns/spikelet; SS: seed set; PF: pollen fertility.
A = (A × B91, A × C90, A × C05, A × C21); S = (S × B55, S × B91, S × C90, S × C05, S × C21); Z = (Z × C05, Z × C34);
Global = (all 4th hybridization cycle combinations)

Global analysis of the Pearson correlation coefficient for 2n, compared to the other quantitative parameters for all combinations, revealed that 2n was negatively correlated to PF ($P < 0.01$, $r = -1877^{**}$), SS ($P < 0.01$, $r = -0.1878^{**}$) and to the number of awns / Sp. ($P < 0.001$, $P = 0.0003$, $r = -0.2406^{***}$).

Morphological characterization of the derivative hybrid seeds revealed that 32% of the derivative seeds were hairless, and 75% had a yellowish lemma as their domesticated parents; 14% of the hybrids were awnless; the rest of the plants had mainly one awn per spikelet. No spikelet shedding was observed for the derivative hybrids. However, lemma color segregated as a single gene in all combinations.

Groat protein content in domesticated *A. magna* lines

Eight selected domesticated lines of the tetraploid species *A. magna,* having good agronomic performance were grown in the field at the INRA experimental farm in Marchouch. Oat grain quality is determined by groat protein and oil contents (Welch and al., 2000). Groat protein content is more often ranked as the most important trait among grain constituents because of its high nutritional value (Doehlert et al., 2001). Therefore, domesticated lines were analyzed for this trait using the Kjeldahl method and com-

Table 4. **Segregation of four spikelet morphological characters in the 4th hybridization cycle of domesticated *Avena magna* (KH2, 3:1)**

Таблица 4. **Расщепление по четырем морфологическим признакам колоска у BC4 одомашненных растений *Avena magna* (KH2, 3: 1)**

Combinations	Lemma color		Lemma pubescence		Nb. Awns/Spikelet		Awn development	
	Yellow	Dark	Glabrous	Pubescence	0	1	0_1	2_3
S × B91	32	10	17	25	8	34	1	0
KH2/ p_value	0,016	0,899	10,258	0,001	26,391	< 0.0001	_	_
A × B91	22	6	9	19	3	25	3	25
KH2/ p_value	0,100	0,752	10,338	0,001	10,338	0,0013	23,625	< 0.0001
S × C90	18	1	4	15	6	13	7	12
KH2/ p_value	2,882	0,0896	11,076	0,001	7,1956	0,0073	5,6116	0,0178
A × C90	21	5	6	20	2	24	2	24
KH2/ p_value	0,251	0,616	14,024	0,000	24,285	< 0.0001	24,285	< 0.0001
S × C05	13	6	7	12	2	17	7	12
KH2/ p_value	0,203	0,653	5,612	0,018	16,134	< 0.0001	5,6116	0,0178
A × C05	5	2	2	5	0	7	0	3
KH2/ p_value	0,023	0,880	3,022	0,082	8,4	0,0038	3,6	0,0578
Z × C05	13	9	9	13	4	18	7	15
KH2/ p_value	1,260	0,262	5,246	0,022	14,271	0,0002	8,2429	0,0041
G × C05	20	9	9	20	1	28	2	27
KH2/ p_value	0,262	0,609	11,252	0,001	31,14	< 0.0001	27,812	< 0.0001
S × C21	11	3	3	11	2	12	7	7
KH2/ p_value	0,050	0,823	8,046	0,005	10,441	0,0012	1,8667	0,1719
A × C21	5	3	3	5	1	7	2	4
KH2/ p_value	0,291	0,590	2,286	0,131	6,3492	0,0117	2,0979	0,1475
Z × C34	4	2	2	4	1	5	1	4
KH2/ p_value	0,101	0,751	2,098	0,148	4,1119	0,0426	3,0326	0,0816
T × C34	5	0	1	4	1	4	1	4
KH2/ p_value	1,429	0,232	3,033	0,082	3,0326	0,0816	3,0326	0,0816

Note: Nb. Awn/Sp.: number of awns/spikelet; SS: seed set; PF: pollen fertility.
A = (A × B91, A × C90, A × C05, A × C21); S = (S × B55, S × B91, S × C90, S × C05, S × C21); Z = (Z × C05, Z × C34); Global = (all 4th hybridization cycle combinations)

Table 5. Linkage of spikelet characteristics in *Avena magna* derivatives of each combination of the 4th hybridization cycle

Таблица 5. Связь признаков колоска у гибридных растений каждой комбинации BC_4 в потомстве *Avena magna*

Combination	DL	K2	P	r
Lhairin*Awnsdev				
A × B91	3	3.896	0.273	−0.01636 ns
A × C05	–	–	–	–
A × C21	2	0.747	0.688	−0.13012 ns
A × C90	3	5.814	0.121	−0.14249 ns
G × C05	3	3.834	0.280	−0.11108 ns
S × B55	–	–	–	–
S × B91	3	3.261	0.353	0.04440 ns
S × C05	2	0.351	0.839	0.04275 ns
S × C21	1	0.424	0.515	0.17408 ns
S × C90	3	6.152	0.104	0.36378 ns
T × C34	2	0.833	0.659	0 ns
Z × C05	3	1.776	0.620	0.00771 ns
Z × C34	3	3.000	0.392	0
NbAwns* Lhairin				
A × B91	1	1.836	0.175	0.25608 ns
A × C05	–	–	–	–
A × C21	1	0.686	0.408	−0.29277 ns
A × C90	1	0.885	0.347	0.18447 ns
G × C05	1	2.302	0.129	0.28172
S × B55	–	–	–	–
S × B91	1	0.982	0.322	−0.15294 ns
S × C05	1	1.304	0.253	−0.26197 ns
S × C21	1	0.636	0.425	−0.21320 ns
S × C90	1	2.030	0.154	0.32686 ns
T × C34	1	0.313	0.576	−0.25000 ns
Z × C05	1	0.167	0.683	0.08716 ns
Z × C34	1	0.600	0.439	−0.31623 ns
Lhairin* Lcolor				
A × B91	1	16.1212	<.0001	−0.75879***
A × C05	1	7.0000	0.0082	−1.00000***
A × C21	1	8.0000	0.0047	−1.00000***
A × C90	1	20.6349	<.0001	−0.89087***
G × C05	1	29.0000	<.0001	−1.00000***
S × B55	–	–	–	–

Table 5. The end

Таблица 5. Окончание

Combination	DL	K2	P	r
S × B91	1	19.3015	<.0001	−0.67791***
S × C05	1	15.0330	0.0001	−0.88950***
S × C21	1	14.0000	0.0002	−1.00000***
S × C90	1	5.6296	0.0177	−0.54433**
T × C34	–	–	–	
Z × C05	1	22.0000	<.0001	−1.00000***
Z × C34	1	6.0000	0.0143	−1.00000***
NbAwns*Awnsdev				
A × B91	3	28.0000	<.0001	0.61758***
A × C05	–	–	–	
A × C21	2	8.0000	0.0183	0.66667*
A × C90	3	13.0903	0.0044	0.37550 ns
G × C05	3	29.0000	<.0001	0.35844
S × B55	–	–	–	
S × B91	3	15.0611	0.0018	0.53916***
S × C05	2	3.8319	0.1472	0.40320 ns
S × C21	–	–	–	–
S × C90	3	8.7794	0.0324	0.64758**
T × C34	2	0.8333	0.6592	0
Z × C05	3	11.9167	0.0077	0.61931**
Z × C34	3	6.0000	0.1116	0.69561 ns
NbAwns* Lcolor				
A × B91	1	0.9164	0.3384	0.18091 ns
A × C05	–	–	–	
A × C21	1	0.6857	0.4076	0.29277 ns
A × C90	1	0.5159	0.4726	0.14086 ns
G × C05	1	2.3016	0.1292	−0.28172 ns
S × B55	–	–	–	–
S × B91	1	0.6968	0.4039	0.12880 ns
S × C05	1	1.0317	0.3098	0.23302 ns
S × C21	1	0.6364	0.4250	0.21320 ns
S × C90	1	0.4872	0.4852	0.16013 ns
T × C34	–	–	–	–
Z × C05	1	0.1671	0.6827	−0.08716 ns
Z × C34	1	0.6000	0.4386	0.31623 ns

Note: *** Significant at the 0.05, 0.01 probability level

pared to their hexaploid *A. sativa* parents: 'Soualem', 'Ghali', 'Amlal' and 'Zahri'. Some lines revealed a groat protein content exceeding by 2 to 3% that of both hexaploid and tetraploid parents (Table 6). The fact that the groat protein content was not as high as expected may have been due to the low level of protein content in the employed *A. sativa* cultivars, which are normally used for forage.

Table 6. Groat protein content in hexaploid parents and the derivative tetraploid *Avena magna*

Таблица 6. Содержание белка в зерне гексаплоидных родительских форм и тетраплоидных гибридов *Avena magna*

Species & lines		Groat protein (%)
A. sativa	Amlal	13
	Ghali	14
	Soualem	10
	Zahri	11
A. magna	P 1-6	11
	mag. Dom. 17	12
	mag dom. 49	12
	mag dom. 61	12
	mag. Dom. 66	13
	mag. Dom. 68	13
	mag. Dom. 76	12
	mag. Dom. 78	12
	mag. Dom. 81	13

Conclusion

Recently, oat has attracted more attention as a crop used for human consumption, and therefore, the release of new lines with a high nutritive value becomes of great importance. The exploitation of wild genetic resources is very beneficial, since this reservoir includes valuable genes. This material has served to enrich the genepool of the cultivated forms through interspecific crosses or to domesticate wild species. Therefore, the coupling of high productivity with valuable traits has been the main objective of any breeding program; it may lead to an increase in the percentage of qualitative kernel components (Loskutov, 2004). Hence, many attempts have been undertaken to domesticate some taxa in order to achieve this goal. Ladizinsky (1995) succeeded in domesticating two wild tetraploid oat species *A. magna* and *A. murphyi* Ladiz. by transferring into them the domesticated syndrome of the cultivated oat through hybridization. The objective of this study was to fully domesticate the developed lines by introducing into them more domesticated characters of Moroccan common oats cultivars. Because it is very difficult to domesticate wild species due to their wild characters, especially shattering, lemma hairiness and presence of awns, we performed many hybridization cycles, up to four (2 backcrosses with *A. sativa* and 2 backcrosses with tetraploid parents), in which common oat was used as the female parent. When a plant breeder contemplates hybridization, cytogenetic studies can be of great assistance in a number of ways (Love et al., 1947).

In the last hybridization cycle (4th crossing cycle), we managed to harvest the BC4 seeds, which were analyzed for their chromosome number, pollen stainability, seed set, and seed morphological characterization. Analysis of correlations between the chromosome number and the other quantitative characters confirmed the results reported by Hugh et al. (1980), that no correlation exists between 2n and PF. Morphological characterization of derivative hybrid seeds showed that lemma color segregated in all combinations as a single gene, while the other characters deviated significantly from the 3:1 ratio for most of the combinations, thus confirming what was demonstrated by Marshall and Shanner (1992), that the four spikelet characteristics are linked to one another in the common oat. This has been contradicted by Ladizinsky (1995) who reported that it does exist in *A. magna*.

According to the results of the chemical analysis undertaken by Welch et al. (2000) for different oat accessions collected from different countries, the ones originating from Morocco presented the highest groat protein content of 29,5% for *A. magna.* For that reason, Ladizinsky (1995) suggested that this trait may be one of the main features to domesticate *A. magna*. This was replied by the experiment we undertook, and hence we succeeded in domesticating 8 lines. However, our goal was to develop domesticated tetraploid lines with high nutritive value and improved groat protein content, exceeding that of their hexaploid parents. Analysis of the derived material revealed that this trait was improved by 2 to 3% in comparison to the hexaploid parent. This was due to the lower value of protein content in the common oat cultivars used in the crosses, since these cultivars were originally intended for forage use, in addition to the dilution of the responsible gene due to the large number of the achieved hybridization cycles.

The domestication goal was achieved, but the choice of the hexaploid cultivars with high groat protein content has to be considered for future crossing. Furthermore, an advanced food technology analysis should be carried out to assess the real nutritive value of the developed tetraploid lines.

Acknowledgments. This study was undertaken within the framework of INRA-USAID Project No. TAMOU 97-053 under the supervision of Prof. G. Ladizinsky. Great thanks go to our colleagues Mr. A. Souihka, Mr. A. Salih Idrissi and Mr. A. Abtah for their assistance for years of experiments. Our special thanks go to Prof. I. Loskutov, N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Russia, for his help in reviewing and publishing this manuscript.

References/Литература

Al Faiz C., Saidi S., Jaritz G. Avoine fourragère (*Avena sativa* L.). In: G. Jaritz, M. Bounejmate (eds). *Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc*. Rabat, Maroc: INRA Éditions; 1997. p.209-224. [in French]

Benchekroun M.,Manzali R., Zouahri A., Douaik A., Bendaou M., Saidi N. et al. Evaluation of Technological Potential of New Developed Moroccan Hexaploid Oat Lines. *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2014;3(7):1759-1767.

Clamot G., 1979 : Recherche sur l'amélioration de la teneur en protéine de l'avoine. In: *Seed protein improvement in cereals and grain legumes. Proceedings of an International Symposium, Heuherberg, Austria, 4–8 September 1978*. Vol. II. Vienna: IAEA; 1979. p:345-356.

DIN ISO 15178: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des Gesamt-Schwefels durch trockene Verbrennung

(Elementaranalyse). Beuth, Berlin, Wien, Zürich; 2001.

Doehlert D.C., McMullen M.S., Hammond J.J. Genotypic and Environmental Effects on Grain Yield and Quality of Oat Grown in North Dakota. *Crop Science.* 2001;41(4):1066-1072. DOI: 10.2135/cropsci2001.4141066x

Harlan J.R. Crops and Man. 2nd ed. Madison, WI: American Society of Agronomy; 1992.

Holland J.B., Frey K.J., Hammond E.G. Correlated responses of fatty acid composition, grain quality and agronomic traits to nine cycles of recurrent selection for increased oil content in oat. *Euphytica*. 2001;122:69-79. DOI: 10.1023/A:1012639821332

Hugh T., Haki J.M., Arangzeb S. The introgression of characters of the wild oat *Avena magna* (2n = 4x = 42) into the cultivated oat *A. sativa* (2n = 6x = 42). *Euphytica*. 1980;29:391-399. DOI: 10.1007/BF00025138

Ladizinsky G. Domestication via hybridization of the wild tetraploids oats *Avena magna* and *A. murphyi*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1995;91:639-646. DOI: 10.1007/BF00223291

Ladizinsky G. The taxonomic status of *Avena magna* – reappraisal. *Lagascalia* 1993;17(2): 325-328.

Ladizinsky G., Fainstein R. Domestication of the protein-rich tetraploid wild oats *Avena magna* and *A. Murphyi*. *Euphytica*. 1977;26:221-223. DOI: 10.1007/BF00032088

Leggett J.M., Ladizinsky G., Hagberg P., Obanni M. The distribution of nine *Avena* species in Spain and Morocco. *Canadian Journal of Botany*. 1992;70(2):240-244. DOI: 10.1139/b92-033

Loskutov I.G. Interspecific Crosses in the Genus *Avena* L. *Russian Journal of Genetics*. 2001;37(5):467-475. DOI: 10.1023/A:1016697812009

Loskutov I.G. Using of wild species genetic diversity in plant breeding. In: Poster Papers. Genetics. Genetic resources for the 21st century. Monocots. The 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia, 26 Sep – 1 Oct 2004. Available from: http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/3/3/1/967_loskutovi.htm#TopOfPage [accessed Sept. 10, 2019].

Love R.M. Interspecific and intergeneric hybridization in forage crop improvement. *Journal of the American Society of Agronomy*. 1947;39(1):41-46.

Mannerstedt Forgelfors B., Peterson D.M. Cultivation environment affects antioxidants, protein and oil content of oat genotypes differently. In: P. Peltonen-Sainio, M. Topi-Hulmi (eds). *Proceedings 7th International Oat Conference*. Jokioinen, Finland: MTT Agrifood Research; 2004. p.154.

Manzali R., Douaik A., Bouksaim M., Ladizinsky G., Saidi N. Assessment of important technological parameters of new Moroccan domesticated tetraploid oat lines of *Avena magna. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(1):32-42. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-1-32-42

Marshall H.G., Shaner G.E. Genetics and Inheritance in Oat: In: H.G. Marshall, M.E. Sorrells (eds). *Oat Science and Technology*. Agronomy Monograph No. 33. Madison, WI: Crop Science Society of America; 1992. p.509-571. DOI: 10.2134/agronmonogr33.c15

Rajhathy T., Sadasivaiah R.S. The cytogenetic status of *Avena magna*. *Canadian Journal of Genetics and. Cytology*. 1969;11:77-85.

Saidi N., Saidi S., Hilali A., Benchekroun M., Al Faiz C., Bouksaim M. et al. Improvement of oat hexaploid lines's groat nutritive value *via* hybridization with tetraploid oat *A. magna*. *American Journal of Research Communication*. 2013;1(9):126-135.

Singh R.J. Plant Cytogenetics. Boca Raton, FL: CRC Press; 1993.

Stevens E.J., Armstrong K.W., Bezar H.J., Griffin W.B., Hampton J.G. Fodder oats: an overview. In: J.M. Suttie, S.G. Reynolds. *Fodder oats: a world overview. Chapter II.* Plant Production and Protection Series. No. 33. Rome, Italy: FAO; 2004. p.11-18.

Welch R., Brown J.C.W., Leggett J.M. Interspecific and Intraspecific Variation in Grain and Groat Characteristics of Wild Oat (*Avena*) Species: Very High Groat (1→3), (1→4)-β-D-glucan in an *Avena atlantica* Genotype. *Journal of Cereal Science*. 2000;31(3):273-279. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0301

Zhu S., Rossnagel B.G., Kaeppler H.F. Genetic Analysis of Quantitative Trait Loci for Groat Protein and Oil Content in Oat. *Crop Science.* 2004;44(1):254-260. DOI: 10.2135/cropsci2004.2540

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

Саиди Н., Шаими Н., Идрисси А.С., Суихка А., Габун Ф., Аль Фаиз С., Ладизинский Г. Введение в культуру дикорастущего тетраплоидного вида овса *Avena magna* Murphy et Terrell, эндемика Марокко. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):84-92. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-84-92

Saidi N., Shaimi N., Idrissi A.S., Souihka A., Gaboun F., Al Faiz C., Ladizinsky G. Domestication of *Avena magna* Murphy et Terrell: a wild tetraploid oat species endemic of Morocco. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):84-92. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-84-92

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/10.30901/2227-8834-2020-1-84-92

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
Saidi N. https://orcid.org/0000-0002-2665-3574
Shaimi N. https://orcid.org/0000-0002-6133-6312
Idrissi A.S. https://orcid.org/0000-0003-4590-8461
Gaboun F. https://orcid.org/0000-0003-2018-8031
Al Faiz C. https://orcid.org/0000-0003-1857-737X
Ladizinsky G. https://orcid.org/0000-0001-5454-4095

Свердловчанин – новый сорт яблони для Среднего Урала

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-93-96
УДК 634.11 (470.34)
Поступление/Received: 02.03.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

CC BY

Sverdlovchanin: a new apple cultivar for the Middle Urals

Д. Д. ТЕЛЕЖИНСКИЙ *, Л. А. КОТОВ, С. А. МАКАРЕНКО, Г. Н. ТАРАСОВА

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН, 620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112, корп. А
ddt77@list.ru

D. D. TELEZHINSKIY, L. A. KOTOV, S. A. MAKARENKO, G. N. TARASOVA

Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A, Belinskogo Street, Yekaterinburg 620142, Russia
ddt77@list.ru

Сотрудниками Свердловской селекционной станции садоводства создан сорт яблони ‘Свердловчанин’, характеризующийся хорошей зимостойкостью и урожайностью (в среднем 18,0 т/га), слабой осыпаемостью во время съемной зрелости. Плоды красивые, одномерные, желтые, округлой формы, массой 110 г (максимальная – 205 г), очень хорошего десертного кисло-сладкого вкуса. В условиях Среднего Урала созревают обычно в конце сентября и способны храниться до конца февраля. Автор сорта – Л. А. Котов. Сорт яблони ‘Свердловчанин’ вошел в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2018 г.

Ключевые слова *Malus domestica*, селекция, плодовые культуры, зимнее созревание.

The Middle Urals is a region of risky agriculture. Apple cultivars of more southern origin are usually unpromising due to insufficient level of hardiness, so there is a need to develop and deploy local apple-tree cultivars. The staff of Sverdlovsk Horticultural Breeding Station released a new apple cultivar, ‘Sverdlovchanin’. This cultivar is notable for high winter hardiness, productivity (average yield is ca. 18.0 t/ha), and low fruit shedding rate at harvest maturity. Its fruits are beautiful, uniform, yellow, roundish, weighing 110 g (maximum 205 g), with a very good sweet and sour dessert flavor. The ripening time under the conditions of the Middle Urals is usually late September, and fruits can be stored until the end of February. The author of this cultivar is L. A. Kotov The apple cultivar ‘Sverdlovchanin’ was included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation in 2018.

Key words: *Malus domestica*, breeding, fruit crops, winter ripening.

Введение

Основными лимитирующими факторами для плодовых культур на Среднем Урале являются повреждающие зимние температуры ниже –30°С, короткий вегетационный период продолжительностью 109–119 дней и низкая сумма активных температур 1600–1800°С. Опыты по интродукции сортов более южного происхождения обычно оказываются малоперспективными из-за недостаточного уровня их зимостойкости (Tarasova, Telezhinskiy, 2018).

Селекционная работа по яблоне на Свердловской селекционной станции садоводства проводится со дня ее образования в 1935 г. Создание современного сортимента штамбовых зимостойких сортов с более крупными плодами хорошего вкуса происходило путем насыщающих скрещиваний местных высокозимостойких форм, произошедших от яблони сибирской, или яблони ягодной – *Malus baccata* (L.) Borkh., с сортами средней и южной полосы России (Telezhinskiy, 2019). В настоящее время гибридный фонд яблони Свердловской селекционной станции садоводства насчитывает около 36 тыс. растений.

На 2020 г. в Государственном реестре селекционных достижений Российской Федерации, допущенных к использованию, находится 18 сортов яблони селекции станции, в том числе и новый сорт ‘Свердловчанин’, характеризующийся высокой зимостойкостью, урожайностью, высокими вкусовыми качествами и длительной лежкостью плодов.

Материалы и методика исследований

Место проведения исследований: Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра 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).

Исследования проводили согласно общепринятым методикам (Dospekhov, 1985; Sedov, Ogoltsova, 1999). Объект исследований – сорт яблони ‘Свердловчанин’ (селекционный номер *Па 40ск83*). В качестве контрольного сорта был выбран наиболее близкий по срокам созревания, районированный на момент закладки опыта и широко распространенный сорт яблони ‘Янтарь’.

Опыт первичного сортоизучения был заложен в 1993 г. по схеме 6 × 3 м, подвой – сеянцы ‘Ранетки пурпуровой’.

Результаты и их обсуждение

Сорт яблони ‘Свердловчанин’ выведен на Свердловской селекционной станции садоводства Л. А. Котовым от опыления в 1963 г. сорта ‘Янтарь’ (сеянец неизвестного происхождения, семена из г. Мичуринска) смесью пыльцы сортов ‘Оранжевое’ (Боро-ренет × Ренет Симиренко), ‘Самоцвет’ (сеянец Бельфлер-китайки) и ‘Звездочка’ (Пепинка литовская × Анис). Год посева – 1964,

год начала плодоношения – 1973, год отбора элитного сеянца – 1983. Сеянец перенес очень суровые зимы 1966/67 и 1968/69 г. В январе 2010 г., когда температура опускалась до –35…–40°С в течение 10 дней, признаков подмерзания ни у сорта 'Свердловчанин', ни у контрольного сорта 'Янтарь' не наблюдалось (таблица).

Деревья сорта 'Свердловчанин' среднерослые, на плодородных почвах сильнорослые, с разреженной раскидистой кроной. Основные ветви слегка коленчатые, отходят от лидера под прямым углом, чем похожи на материнский сорт 'Янтарь'. Побеги тонкие, коленчатые, коричнево-бурые, опушенные. Листья узкие, удлиненные, с волнистыми краями и мелко-городчатой зазубренностью. Тип плодоношения – на простых и сложных кольчатках, плодовых прутиках. Начало плодоношения – на шестой год после прививки. В дождливые годы сорт в средней степени поражается паршой. В питомнике отличается высокой приживаемостью окулировок, разветвленностью однолеток.

Цветки сорта 'Свердловчанин' среднего размера, белые, мелко-чашевидные, ароматные, с овальными лепестками. Колонка пестиков длинная, рыльце по высоте наравне с тычинками.

Плоды сорта 'Свердловчанин' (рис. 1, 2) одномерные, среднего размера (в среднем 110 г, максимальный вес 205 г), округлой формы с умеренной ребристостью, на длинной или средней плодоножке. Воронка очень мелкая, широкая, практически без оржавленности. Блюдце мелкое, широкое, бороздчатое, чашечка закрытая. Кожица нежная, гладкая, сухая, в лежке – слегка блестящая, белая или светло-желтая, без покровной окраски. Привлекательность внешнего вида высокая. Такие белые или желтоватые плоды пользуются значительным спросом, особенно у людей, предрасположенных к аллергии.

Мякоть плода желтовато-белая, сочная, мелкозернистая, нежная, скалывающегося типа, отличного кис-

Рис. 1. Плоды сорта яблони 'Свердловчанин' (фото Д. Д. Тележинского)
Fig. 1. Fruits of the apple cultivar 'Sverdlovchanin' (photo: D. D. Telezhinskiy)

Рис. 2. Плодоношение сорта яблони 'Свердловчанин' (фото Д. Д. Тележинского)
Fig. 2. Fruiting pattern of the apple cultivar 'Sverdlovchanin' (photo: D. D. Telezhinskiy)

Таблица. Основные хозяйственно-ценные признаки сорта яблони ‘Свердловчанин’ (Екатеринбург, 2015–2019 гг.)

Table. The main economically valuable traits of the apple cultivar ‘Sverdlovchanin’ (Yekaterinburg, 2015–2019)

Признаки	Сорт Свердловчанин	Контрольный сорт Янтарь
Степень подмерзания, балл	0,0	0,0
Устойчивость к засухе	средняя	слабая
Поражаемость паршой, балл:	1,7	3–4
Регулярность плодоношения	ежегодная	ежегодная
Возраст вступления в пору плодоношения на семенном подвое, лет	6	5
Средняя урожайность, ц/га	179,8 Fф<Fт	157,6 Fф<Fт
Максимальная урожайность, ц/га	344	327
Средняя масса плода, г:	110	35
максимальная	205	55
Содержание в плодах:		
сухого вещества, %	14,0	14,0
сахара, %	11,2	11,0
кислоты, %	0,98	1,05
витамина С, мг%	12,3	11,6
Дегустационная оценка в свежем виде, балл	4,8	4,7
Транспортабельность плодов	средняя	средняя
Основное назначение сорта	десертный	столовый, универсальный

ло-сладкого вкуса. Во время хранения мякоть постепенно становится средней плотности, не скалывающейся. В условиях Екатеринбурга плоды собирают в середине сентября, они сразу готовы к употреблению и способны храниться до конца февраля. Если их собирать в более поздний срок, то часть плодов наливается и лежкость их значительно снижается.

Плоды содержат: 14% сухих растворимых веществ, 11,2% сахаров, 0,98% кислот, 12,3 мг% аскорбиновой кислоты (максимально 17,9 мг%), 190,2 мг% витамина Р (катехинов) (максимально 240 мг%).

Сорт ‘Свердловчанин’ по средней урожайности немного превосходит контрольный сорт ‘Янтарь’ (рис. 3), но отличия не достоверны (*Fф<Fm*).

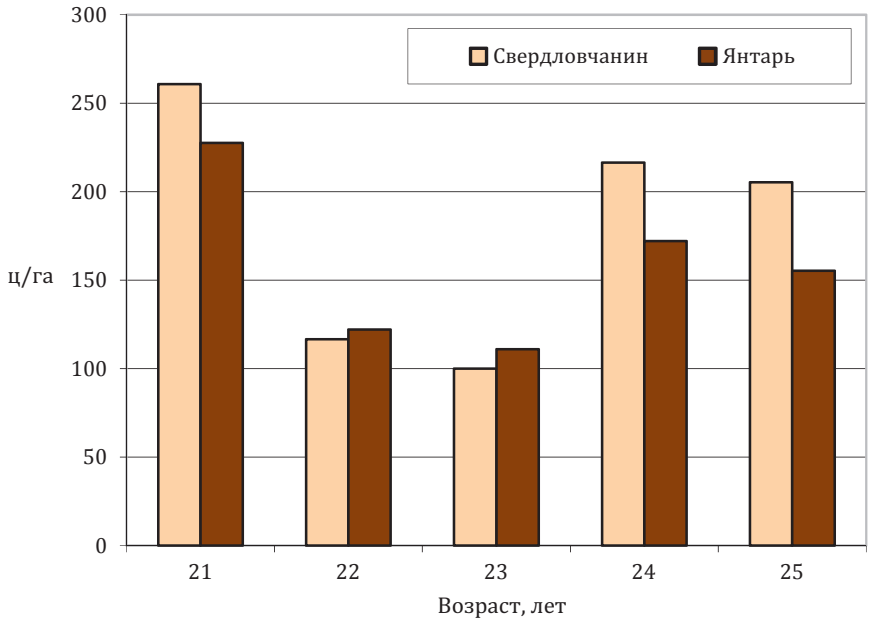


Рис. 3. Урожайность сортов яблони ‘Свердловчанин’ и ‘Янтарь’ (Екатеринбург, 2015–2019 гг.)

Fig. 3. Productivity of the apple cultivars ‘Sverdlovchanin’ and ‘Yantar’ (Yekaterinburg, 2015–2019)

Заключение

По результатам многолетнего изучения сорт яблони 'Свердловчанин' выделяется хорошей зимостойкостью и урожайностью, высокой прочностью кроны. Его красивые желтые плоды без покровной окраски имеют средний размер, отличный вкус, плотную скалывающуюся мякоть и способны храниться до конца февраля. В плодоношение вступает через шесть лет после прививки. В дождливые годы сорт среднеустойчив к парше. В 2018 г. сорт яблони 'Свердловчанин' внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

Исследования выполнены в рамках направления 150 Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. по теме «Разработка и совершенствование методов селекционной работы, создание исходного материала и адаптивных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных, декоративных культур и картофеля» (№ 0773-2019-0022).

References/Литература

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

Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: 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., Telezhinskiy D.D. New pear varieties for Middle Ural. *Contemporary Horticulture.* 2018;3:33-38. [in Russian] (Тарасова Г.Н., Тележинский Д.Д. Новые сорта груши для среднего Урала. *Современное садоводство*. 2018;3:33-38). DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10305

Telezhinskiy D.D. Sokol yasny is a new apple variety for the Middle Ural. *Contemporary Horticulture*. 2019;2:22-26. [in Russian] (Тележинский Д.Д. Сокол ясный – новый сорт яблони для среднего Урала. *Современное садоводство.* 2019;2:22-26). DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10204

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

Тележинский Д.Д., Котов Л.А., Макаренко С.А., Тарасова Г.Н. Свердловчанин – новый сорт яблони для Среднего Урала. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):93-96. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-93-96

Telezhinskiy D.D., Kotov L.A., Makarenko S.A., Tarasova G.N. Sverdlovchanin: a new apple cultivar for the Middle Urals. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):93-96. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-93-96

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/10.30901/2227-8834-2020-1-93-96

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
Telezhinskiy D.D. https://orcid.org/0000-0002-4783-2029
Kotov L.A. https://orcid.org/0000-0001-5211-7583
Makarenko S.A. https://orcid.org/0000-0002-5927-4829
Tarasova G.N. https://orcid.org/0000-0003-3563-6917

Прохождение фенологических фаз у астрагалов, интродуцируемых в условиях Кулундинской степи

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-97-104
CC BY
УДК 581.543(571.150)
Поступление/Received: 03.03.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

Passage through phenophases by milkvetches introduced into the environments of the Kulunda Steppe

Т. В. КОРНИЕВСКАЯ

Алтайский государственный университет,
656049 Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 61
galtsovatw@yandex.ru

T. V. KORNIEVSKAYA

Altai State University,
61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia
galtsovatw@yandex.ru

Актуальность. В последнее время все больше внимания уделяется изучению фенологии растений в связи с глобальными изменениями климата. На сегодняшний день не до конца изучен механизм влияния климатических факторов на фенофазы растений. Точные прогнозы биологической реакции видов на изменение климата требуют глубокого понимания воздействующих метеорологических факторов на фенологию растений. **Материалы и методы.** Объектом исследования послужили виды рода *Astragalus* L., интродуцируемые в сухостепной зоне Кулунды. Для агрометеорологической характеристики интродукционного участка подобраны метеопоказатели, определяющие его гидротермические условия. Для нахождения уровня связи между изучаемыми показателями использовался коэффициент корреляции Пирсона. **Результаты.** Высокая температура воздуха сокращает вегетацию *A. cicer* L., но удлиняет цветение и плодоношение. Повышение относительной влажности воздуха укорачивает цветение у *A. cicer*. На длительность фенофаз *A. sulcatus* L. метеопоказатели существенного влияния не оказывали. У *A. onobrychis* L. увеличение средней относительной влажности воздуха сокращает фазу бутонизации, а повышение средней и максимальной температуры воздуха, увеличение суммы осадков удлиняют цветение. Понижение температуры и средней относительной влажности воздуха, увеличение суммы осадков удлиняют плодоношение *A. onobrychis.* Сокращают фазу плодоношения повышение средней температуры и влажности воздуха. **Заключение.** *A. sulcatus* является толерантным видом к условиям сухой степи. Фенофазы *A. cicer* и *A. onobrychis* более чувствительны к изменению метеопоказателей. У *A. onobrychis* фаза плодоношения является уязвимой по совокупному влиянию климатических факторов. Лимитирующими факторами для *A. cicer* являются: относительная влажность воздуха, количество осадков и средняя температура вегетационного периода.

Ключевые слова: *Astragalus*, фенология, метеопоказатели, сухая степь.

Background. Recently, more and more attention has been paid to the study of plant phenology in the context of the global climate change. By now, the question of how climate factors affect the phenophases of plants has not yet been fully investigated. Accurate forecasts for biological responses of plant species to climate change require profound understanding of the impact produced by meteorological factors on plant phenology. **Materials and methods.** The research was targeted at *Astragalus* L. spp. introduced into the dry steppe areas of the Kulunda Plain. Meteorological indicators were selected for agrometeorological description of the plant introduction site to assess its hydrothermal conditions. The Pearson correlation coefficient was used to identify the level of correlations between the studied parameters. **Results.** High air temperature shortened the growing season of *Astragalus cicer* L., but lengthened its flowering and fruiting phases. An increase in relative air humidity shortened the flowering in *A. cicer*. Meteorological indicators did not significantly affect the duration of the phenophases in *A. sulcatus* L. For *A. onobrychis* L., an increase in the average relative humidity reduced the budding phase, while an increase in the average and maximum air temperature and an increase in the amount of precipitation increased the flowering period. A decrease in air temperature and average relative humidity, and an increase in the total precipitation lengthened the duration of fruiting in *A. onobrychis*. Increased average temperature and humidity reduced its fruiting phase. **Conclusion.** *A. sulcatus* is tolerant to the dry steppe environments. The phenophases of *A. cicer* and *A. onobrychis* are more responsive to changes in meteorological indicators. In *A. onobrychis*, the fruiting phase is susceptible to the combined impact of climate factors. The limiting factors for *A. cicer* are relative humidity, total precipitation and mean temperature during the growing season.

Key words: *Astragalus*, phenology, meteorological indicators, dry steppe.

Введение

В течение последних пятнадцати лет все больше внимания уделяется изучению фенологии растений в связи с продолжающимися глобальными изменениями климата, охватившими регионы северного полушария. Глобальное потепление вызывает изменчивость жизненных циклов растений. Исследования зарубежных и отечественных авторов (Khanduri et al., 2008; Bobretsov et al., 2017) доказали увеличение средней продолжительности вегетационного периода травянистых растений умеренных широт на 3,3 дня и смещение на более ранние сроки (от 3 до 11 дней) даты начала цветения в связи с ранним таянием снега. Изменение количества осадков и потепление влияют на распространение растений, их фенологию и представляют серьезные последствия для экологических и эволюционных явлений, связанных с биологической продуктив-

ностью экосистем, структурой сообществ и сохранением биоразнообразия в целом (Bertin, 2008). Малоизученным на сегодняшний день остается вопрос о том, какие именно климатические факторы влияют на фенологические фазы разных видов растений и каким образом. Точные прогнозы биологической реакции видов на изменение климата требуют глубокого понимания метеорологических факторов, воздействующих на фенологию растений (Wadgymar et al., 2018).

Целью настоящего исследования стало установление зависимости длительности фенологических фаз астрагалов, интродуцируемых в сухостепной зоне Западной Кулунды, от определенных метеопараметров.

Материалы и методы

Объектом исследования послужили три вида рода *Astragalus* L., интродуцируемые в условиях сухостепной зоны Кулунды с 2013 г. и по настоящее время. Первоначальные образцы семян получены от кураторов коллекции кормовых трав Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (табл. 1).

Таблица 1. Список образцов семян астрагалов, используемых для создания интродукционного участка (с. Полуямки, Михайловский район, Алтайский край)

Table 1.The list of milkvetch seed accessions used to establish a plant introduction site (Poluyamki Village, Mikhailovsky District, Altai Territory)

Название образца	Номер по каталогу ВИР	Происхождение
Astragalus cicer L. – Астрагал нутовый	48630	Канада
A. sulcatus L. – Астрагал бороздчатый	34604	Чехословакия
A. onobrychis L. – Астрагал эспарцетовый	35214	Ставропольский край

Интродукционный пункт находится на юге Западной Сибири в окрестностях с. Полуямки Михайловского района Алтайского края. Территория исследования расположена в зоне умеренно-континентального климата с холодной, малоснежной зимой и жарким засушливым летом. Климат формируется часто сменяющимися воздушными массами, которые поступают со стороны Арктики, Атлантики и Средней Азии (Kharlamova, Kazartseva, 2017). В основном климат этой территории определяется сильными юго-западными ветрами, дующими со стороны жарких степей Казахстана. Годовая сумма осадков составляет 180–350 мм, сумма осадков вегетационного периода редко превышает 140–190 мм. Наибольшее количество осадков выпадает летом (в июне – августе), с максимумом в июле. В мае и июне обычны почвенные и воздушные засухи, которые приводят к суховеям и пыльным бурям (Kharlamova, 2013).

Климатические нормы среднемесячных температур воздуха рассчитаны нами по ближайшей к интродукционному участку метеостанции Ключи, расположенной в 40 км от места проведения работ, посредством доступа к открытым базам архивов метеонаблюдений (Weather and Climate…, 2004–2020). Важно отметить, что с. Полуямки и с. Ключи расположены в пределах одного рельефа местности Западно-Кулундинской природно-климатической зоны. Все климатические параметры рассчитывались за ретроспективный период (1973–2018 гг.). Среднее значение годовых отрицательных температур достигало 1643°С, а среднегодовых положительных температур составило 2794 °С. Абсолютный максимум температур отмечен в июле (от +38 до +41°С), а абсолютный минимум температур – в январе (от –41 до –51°С).

К отрицательным климатическим факторам места интродукции астрагалов можно отнести: ярко выраженную континентальность, которая характеризуется низкой температурой воздуха в зимний период, неустойчивое и неравномерное распределение осадков, частые и сильные ветра в течение года. Положительными климатическими факторами являются: высокая сумма эффективных температур вегетационного периода и высокая относительная влажность воздуха в августе.

Для агрометеорологической характеристики интродукционного участка подобраны метеопоказатели, определяющие его гидротермические условия. Для выбранных метеорологических параметров в рамках каждой фенологической фазы рассчитывались некоторые статистические характеристики: среднее арифметическое, минимумы, максимумы, стандартные ошибки выборочных средних, средние квадратические отклонения и коэффициенты вариации.

Фенологические фазы и периоды к конкретным датам характеризовались суммой активных температур > 0°С и > +5°С и суммой эффективных температур > +5°С, которые рассчитывались по сумме положительных отклонений среднесуточных температур от +5°С.

Длительность вегетационного периода астрагалов ограничивалась весенними и осенними датами устойчивого перехода среднесуточных температур через 0°С. В качестве таковых для весны принимался тот день, после которого обратный переход не был зафиксирован, или был, но сумма положительных отклонений средней суточной температуры от 0°С превышала сумму отрицательных отклонений любого из последующих периодов (Sadokov et al., 2012). Учитывая смену знаков сумм отклонений, аналогично определялась осенняя дата перехода.

Математическая обработка данных поводилась на основе методов математической статистики с использованием корреляционного и дисперсионного анализов в пакете программ Microsoft Office Excel и Statistica 6.0.

Для нахождения и измерения уровня связи между изучаемыми показателями использовался коэффициент корреляции Пирсона, измеряющий меру линейной связи между ними. В качестве меры изменчивости использовалось отношение стандартного отклонения признака к его среднему значению, то есть коэффициент вариации (CV, %), выраженный в процентах.

Фенологические наблюдения выполнены по методике И. Н. Бейдеман (Beideman, 1974).

Результаты

Проведенный корреляционный анализ отражает зависимость длительности некоторых фенологических фаз астрагалов от определенных метеорологических параметров.

На продолжительность фенологических фаз астрагалов по-разному влияет средняя температура периода соответствующей фазы (табл. 2). Так, у *A. cicer* L. высокая температура вызывает сокращение длительности фаз вегетации и бутонизации, тогда как другие виды на нее мало реагируют. Длительность фазы цветения увеличивается на фоне более высокой температуры у всех видов. В большей степени высокая температура влияет на длительность цветения *A. cicer*: чем выше средняя температура, тем продолжительнее цветение.

Более высокая температура также приводит к увеличению продолжительности фазы плодоношения у *A. cicer*. Напротив, у *A. sulcatus* L. под влиянием высоких температур период плодоношения укорачивается, а у *A. onobrychis* L. длительность фазы плодоношения не изменяется. Наиболее чувствительным к температуре видом при прохождении фенофаз оказался *A. cicer*, как показывает среднее абсолютных значений коэффициентов корреляций (табл. 2).

В таблице 3 отражены особенности влияния суммы осадков на продолжительность фенологических фаз астрагалов. Близкие к нулевым значения коэффициента корреляции свидетельствуют об отсутствии прямой связи суммы осадков и продолжительности фаз вегетации и бутонизации астрагалов, но не исключают возможности ее нелинейной зависимости.

Вегетация астрагалов начинается сразу при стаивании снега (весенне-летне-осенний ритм развития растений). Запаса весенних талых вод достаточно для отрастания вегетативных органов. Фаза массовой бутонизации астрагалов приурочена к концу мая – середине июня. Увеличение количества осадков мало влияет на продолжительность цветения у *A. cicer* и *A. sulcatus*: растягивает цветение последнего и не изменяет длительность фазы у первого. С увеличением количества осадков происходит удлинение фазы цветения *A. onobrychis*, длительностью цветения положительно коррелируя с суммой осадков. Вероятно, большее количество осадков лишь косвенно влияет на продолжительность этой фенофазы, поскольку облачность снижает солнечную радиацию и ослабляет действие высоких температур. Из средних абсолютных значений коэффициентов корреляций следует, что длительность фенологических фаз *A. onobrychis* сильнее, чем у двух других видов, зависит от суммы осадков (см. табл. 3).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции продолжительности фенологических фаз видов *Astragalus* со средней температурой

Table 2. Correlation coefficients for the duration of phenophases in *Astragalus* spp. and the mean air temperature

Вид	Фенологическая фаза				
	Вегетация	Бутонизация	Цветение	Плодоношение	Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
A. cicer	**–0,68**	–0,63	**0,92**	0,75	**0,75**
A. sulcatus	0,00	–0,36	0,59	**–0,58**	0,38
A. onobrychis	0,21	–0,03	0,17	0,17	0,15

Таблица 3. Коэффициенты корреляции продолжительности фенологических фаз видов *Astragalus* с суммой осадков

Table 3. Correlation coefficients for the duration of phenophases in *Astragalus* spp. and the total precipitation

Вид	Фенологическая фаза				
	Вегетация	Бутонизация	Цветение	Плодоношение	Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
A. cicer	–0,27	0,07	–0,11	0,49	0,24
A. sulcatus	–0,25	0,66	0,59	0,57	0,52
A. onobrychis	0,31	0,00	**0,89**	**0,98**	**0,55**

Установлено, что средняя относительная влажность воздуха не влияет на продолжительность фазы вегетации видов *Astragalus* (табл. 4).

В фазе вегетации рост и развитие побегов астрагалов в большей степени определяет почвенный запас влаги. Прослеживается обратная корреляция между продолжительностью фазы бутонизации и относительной влажностью воздуха у *A. cicer* и *A. sulcatus* (r = –0,42 и r = –0,24 соответственно), тогда как у *A. onobrychis* r = –0,66. Повышение средней относительной влажности воздуха незначительно сокращает длительность фазы бутонизации астрагалов.

С повышением относительной влажности воздуха фаза цветения у *A. cicer* укорачивается сильнее, чем у *A. onobrychis*. На фазу цветения у *A. sulcatus* относительная влажность воздуха влияния не оказывает.

Более высокая относительная влажность воздуха увеличивает продолжительность фазы плодоношения у *A. onobrychis* и *A. sulcatus*, но почти не влияет на плодоношение *A. cicer*.

Среднее абсолютных значений коэффициентов корреляции позволяет выявить большую чувствительность фенологических фаз *A. onobrychis* и *A. cicer* к смене метеопоказателей.

Данные таблицы 5 показывают среднюю степень влияния совокупности метеоэлементов на продолжительность фаз бутонизации, цветения и плодоношения у *A. cicer*.

Фенологические фазы *A. sulcatus* в меньшей степени подвержены влиянию погодных условий. У *A. onobrychis* зависимыми от метеорологических показателей являются фазы цветения и плодоношения. Средние значения коэффициентов корреляции позволяют сделать вывод о том, что наиболее толерантным видом к условиям сухостепной зоны Кулунды является *A. sulcatus* (см. табл. 5).

A. onobrychis и *A. cicer* являются видами, фенофазы которых чувствительны в большей степени к изменению метеорологических показателей.

В фазу вегетации графики коэффициентов корреляции межфазных периодов у разных видов *Astragalus* асинхронны с метеоэлементами (рис. 1), что указывает на индивидуальную реакцию изученных астрагалов.

На графиках фазы бутонизации явно выражена синхронизация коэффициентов корреляции видов *Astragalus* с изученным комплексом метеоэлементов (рис. 2). Представленные графики показывают, что отклик межфазового периода на метеоэлементы здесь характерен не для конкретного вида, а для всех изучаемых астрагалов в условиях интродукции.

В фазу цветения и плодоношения изученные астрагалы одинаково реагируют на смену метеоусловий. Графики, изображенные на рисунках 3 и 4, показывают синхронность коэффициентов корреляции длительности фенофаз астрагалов, особенно при влиянии температуры. Средняя и максимальная температуры фазы цветения удлиняют ее продолжительность у астрагалов, а минимальная температура фазы, напротив, укорачивает цветение. Повышение средней и максимальной температур воздуха в фазу плодоношения укорачивает ее длительность у астрагалов, а снижение минимальной температуры растягивает плодоношение (рис. 3: 3).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции продолжительности фенологических фаз видов *Astragalus* со средней относительной влажностью воздуха

Table 4. Correlation coefficients for the duration of phenophases in *Astragalus* spp. and the mean relative air humidity

Вид	Фенологическая фаза				
	Вегетация	Бутонизация	Цветение	Плодоношение	Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
A. cicer	0,05	–0,42	**–0,95**	0,59	0,50
A. sulcatus	0,19	–0,24	0,00	0,73	0,29
A. onobrychis	-0,24	–0,66	**–0,68**	**0,98**	**0,64**

Таблица 5. Среднее значение абсолютных значений коэффициентов корреляции продолжительности фенологических фаз видов *Astragalus* с совокупностью метеоэлементов

Table 5. Mean absolute values of the correlation coefficients for the duration of phenophases in *Astragalus* spp. and the set of weather elements

Вид	Фенологическая фаза				
	Вегетация	Бутонизация	Цветение	Плодоношение	Среднее абсолютных значений коэф. корреляции
A. cicer	**0,42**	**0,57**	**0,61**	**0,54**	**0,54**
A. sulcatus	**0,14**	**0,41**	**0,47**	**0,54**	0,39
A. onobrychis	**0,27**	**0,36**	**0,68**	**0,84**	**0,54**

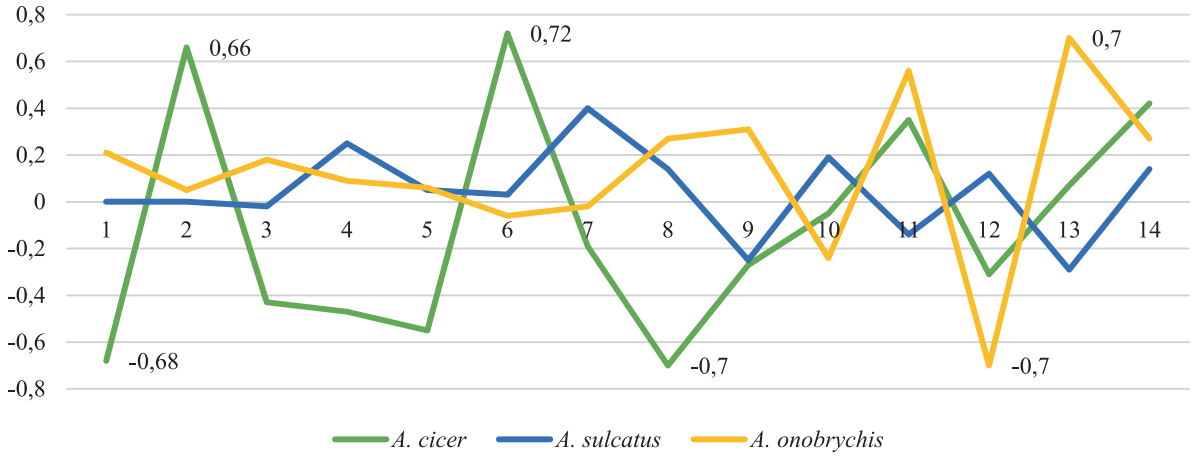


Рис. 1. График коэффициентов корреляции периода вегетации различных видов астрагалов с метеоэлементами:
1 – средняя температура периода, 2 – CV сред. температуры периода, 3 – минимальная температура периода, 4 – максимальная температура периода, 5 – средняя температура точки росы, 6 – CV сред. температуры точки росы, 7 – минимальная температура точки росы, 8 – максимальная температура точки росы; 9 – сумма осадков периода, 10 – средняя относительная влажность воздуха, 11 – CV сред. относит. влажности воздуха, 12 – минимальная относительная влажность воздуха, 13 – максимальная относительная влажность воздуха

Fig. 1. The graph of the correlation coefficients for the growing season of different *Astragalus* spp. and weather elements:
1 – mean temperature of the season, 2 – coefficient of variation (CV) for the season's mean temperature, 3 – minimum temperature of the season, 4 – maximum temperature of the season, 5 – mean dew point temperature, 6 – CV for mean dew point temperature, 7 – minimum dew point temperature, 8 – maximum dew point temperature, 9 – total precipitation of the season, 10 – mean relative humidity, 11 – CV for mean relative humidity, 12 – minimum relative humidity, 13 – maximum relative humidity

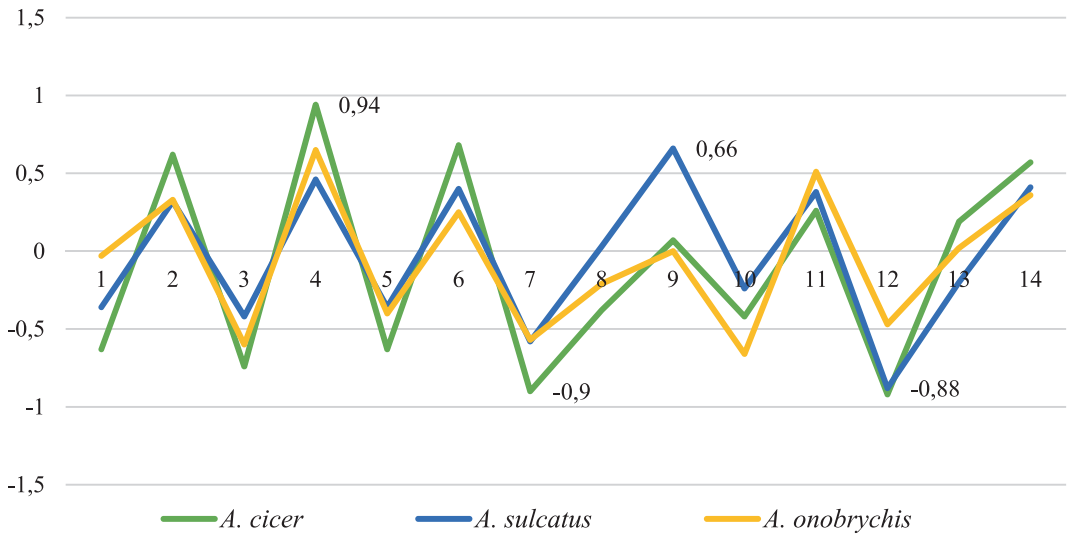


Рис. 2. График коэффициентов корреляции периода бутонизации различных видов астрагалов с метеоэлементами:
1 – средняя температура периода, 2 – CV сред. температуры периода, 3 – минимальная температура периода, 4 – максимальная температура периода, 5 – средняя температура точки росы, 6 – CV сред. температуры точки росы, 7 – минимальная температура точки росы, 8 – максимальная температура точки росы; 9 – сумма осадков периода, 10 – средняя относительная влажность воздуха, 11 – CV сред. относит. влажности воздуха, 12 – минимальная относительная влажность воздуха, 13 – максимальная относительная влажность воздуха

Fig. 2. The graph of the correlation coefficients for the budding phase of different *Astragalus* spp. and weather elements:
1 – mean temperature of the phase, 2 – coefficient of variation (CV) for the phase's mean temperature, 3 – minimum temperature of the phase, 4 – maximum temperature of the phase, 5 – mean dew point temperature, 6 – CV for mean dew point temperature, 7 – minimum dew point temperature, 8 – maximum dew point temperature, 9 – total precipitation of the phase, 10 – mean relative humidity, 11 – CV for mean relative humidity, 12 – minimum relative humidity, 13 – maximum relative humidity

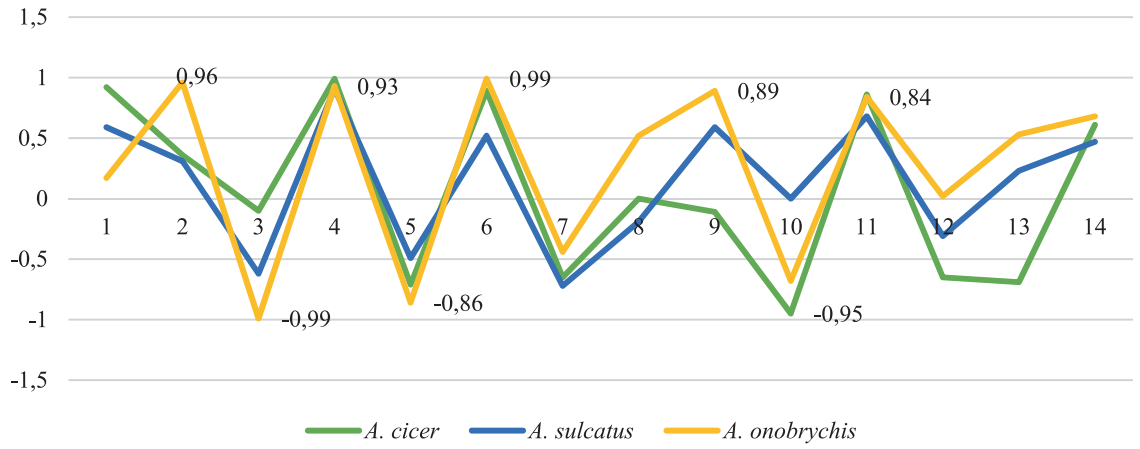


Рис. 3. График коэффициентов корреляции периода цветения различных видов астрагалов с метеоэлементами:
1 – средняя температура периода, 2 – CV сред. температуры периода, 3 – минимальная температура периода, 4 – максимальная температура периода, 5 – средняя температура точки росы, 6 – CV сред. температуры точки росы, 7 – минимальная температура точки росы, 8 – максимальная температура точки росы; 9 – сумма осадков периода, 10 – средняя относительная влажность воздуха, 11 – CV сред. относит. влажности воздуха, 12 – минимальная относительная влажность воздуха, 13 – максимальная относительная влажность воздуха

Fig. 3. The graph of the correlation coefficients for the flowering phase of different *Astragalus* spp. and weather elements:
1 – mean temperature of the phase, 2 – coefficient of variation (CV) for the phase's mean temperature, 3 – minimum temperature of the phase, 4 – maximum temperature of the phase, 5 – mean dew point temperature, 6 – CV for mean dew point temperature, 7 – minimum dew point temperature, 8 – maximum dew point temperature, 9 – total precipitation of the phase, 10 – mean relative humidity, 11 – CV for mean relative humidity, 12 – minimum relative humidity, 13 – maximum relative humidity

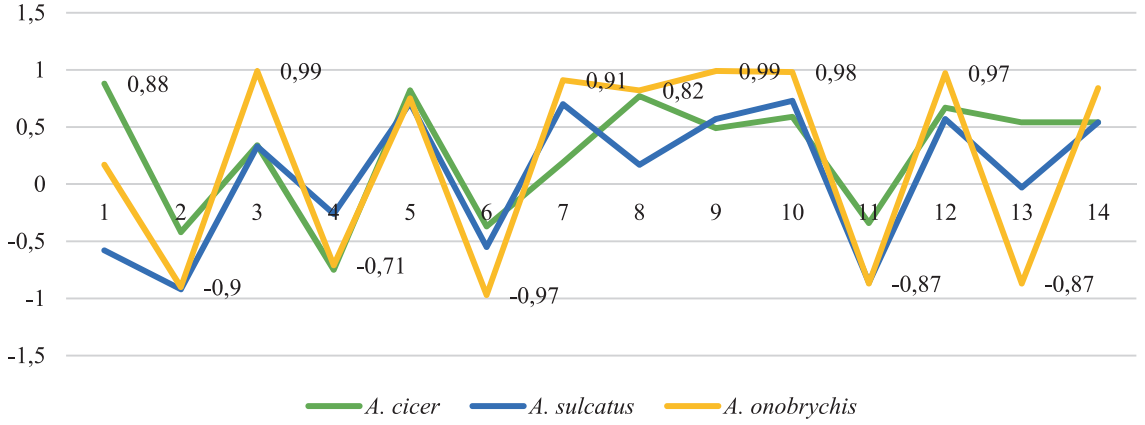


Рис. 4. Графики коэффициентов корреляции периода плодоношения различных видов астрагалов с метеоэлементами:
1 – средняя температура периода, 2 – CV сред. температуры периода, 3 – минимальная температура периода, 4 – максимальная температура периода, 5 – средняя температура точки росы, 6 – CV сред. температуры точки росы, 7 – минимальная температура точки росы, 8 – максимальная температура точки росы; 9 – сумма осадков периода, 10 – средняя относительная влажность воздуха, 11 – CV сред. относит. влажности воздуха, 12 – минимальная относительная влажность воздуха, 13 – максимальная относительная влажность воздуха

Fig. 4. The graph of the correlation coefficients for the fruiting phase of different *Astragalus* spp. and weather elements:
1 – mean temperature of the phase, 2 – coefficient of variation (CV) for the phase's mean temperature, 3 – minimum temperature of the phase, 4 – maximum temperature of the phase, 5 – mean dew point temperature, 6 – CV for mean dew point temperature, 7 – minimum dew point temperature, 8 – maximum dew point temperature, 9 – total precipitation of the phase, 10 – mean relative humidity, 11 – CV for mean relative humidity, 12 – minimum relative humidity, 13 – maximum relative humidity

Обсуждение

Для *A. cicer* лимитирующими метеопоказателями являются: средняя относительная влажность воздуха, количество осадков и средняя температура периода.

Талых вод, пополняющих почвенный запас влаги, оказывается достаточно для прорастания семян, активации почек возобновления куадекса и многолетних стеблей, из которых формируется развитая система побегов. Нами установлена прямая корреляция между средней температурой воздуха фенологических фаз и их длительностью. Повышение средней температуры воздуха в фазу цветения и плодоношения удлиняет их продолжительность. Однако высокая температура воздуха в фазу вегетации является лимитирующей для *A. cicer* и приводит к сокращению ее продолжительности. Увеличение суммы осадков не оказывает влияния на длительность фенофаз *A. cicer*. Повышение относительной влажности воздуха, наоборот, укорачивает фазу цветения.

Распространение *A. cicer* на север Европы и Европейской части России изменяло экологические условия обитания вида в сторону увеличения влагообеспеченности, снижения суммы эффективных температур, что обусловило экологическую пластичность и его широкую экологическую амплитуду.

Astragalus sulcatus освоены различные экологические ниши, начиная от опустыненных степей высокогорных котловин, среднегорных и равнинных степей, вплоть до наиболее влагообеспеченных местообитаний (Plennik, 1976).

Результаты шестилетних наблюдений показали, что условия сухостепной зоны Кулунды являются подходящими для развития *A. sulcatus*. Метеорологические показатели не оказывали существенного влияния на длительность фенологических фаз *A. sulcatus*. Высокая температура воздуха незначительно удлиняет фазу цветения, но укорачивает длительность фазы плодоношения. Повышенная влажность воздуха также удлиняет фазу плодоношения, а увеличение суммы осадков незначительно растягивает цветение.

Ареал *A. onobrychis* простирается в умеренных и субтропических широтах земного шара. *A. onobrychis* является эвритопным видом, который в пределах своего ареала может обитать в мезофитных условиях, а также входить в состав лугово-степных и степных фитоценозов. Наряду с адаптивной нормой (*A. onobrychis* имеет мезофильный облик) в пределах вида спорадически встречаются растения, густо покрытые многочисленными волосками. Такие растения приурочены, как правило, к сухим местообитаниям и теплым экотопам. А. К. Сытин (Sytin, 1982) называет *A. onobrychis* экологически толерантным видом, на основе которого образовались другие виды, освоившие наиболее депрессивные рельефы и обитающие в условиях континентального климата. Основная географическая раса *A. onobrychis* не выходит за пределы степной зоны.

Проведенный нами комплекс исследований показал, что максимальная относительная влажность воздуха удлиняет фазу вегетации *A. onobrychis.* Увеличение средней относительной влажности воздуха сокращает продолжительность фазы бутонизации *A. onobrychis*. Повышение средней и максимальной температуры периода, увеличение суммы осадков удлиняют период цветения, а такие факторы, как увеличение средней атмосферной влажности воздуха и суммы осадков периода, напротив, приводят к сокращению фазы цветения. На продолжительность фазы плодоношения *A. onobrychis* положительно влияют понижение температуры, средней относительной влажности воздуха и увеличение суммы осадков; отрицательно – повышение средней температуры и влажности воздуха. В результате исследования установлено, что наиболее уязвимой для *A. onobrychis* является фаза плодоношения.

Заключение

В результате многолетних наблюдений за интродуцируемыми видами *Astragalus* выявлен вид, толерантный к условиям сухостепной зоны Кулунды – *A. sulcatus*, длительность фенологических фаз которого слабо изменяется при влиянии метеорологических элементов. Фенофазы *A. cicer* и *A. onobrychis* более чувствительны к изменению метеопоказателей. У *A. onobrychis* фаза плодоношения является уязвимой по совокупному влиянию климатических факторов. На фенологические фазы *A. cicer* оказывают сильное воздействие относительная влажность воздуха, количество осадков и средняя температура вегетационного периода.

References/Литература

Beideman I.N. Methods of studying the phenology of plants and plant communities: guidelines (Metodika izucheniya fenologii rasteniy i rastitelnykh soobshchestv: metodicheskiye ukazaniya). Novosibirsk: Nauka; 1974. [in Russian] (Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ: методические указания. Новосибирск: Наука; 1974).

Bertin R.I. Plant Phenology And Distribution In Relation To Recent Climate Change. *The Journal of the Torrey Botanical Society*. 2008;135(1):126-146. DOI: 10.3159/07-RP-035R.1

Bobretsov A.V., Tertitsa T.K., Teplova V.P. The impact of climate change on the phenology of plants and animals of the South-Eastern part of the Komi Republic (the Pechora-Ilych Biosphere Reserve). *Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling*. 2017;28(4):74-93. [in Russian] (Бобрецов А.В., Тертица Т.К., Теплова В.П. Влияние изменения климата на фенологию растений и животных юго-восточной части Республики Коми [Печоро-Илычский биосферный заповедник]. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2017;28(4):74-93). DOI: 10.21513/0207-2564-2017-4-74-93

Khanduri V.P., Sharma C.M., Singh S.P. The effects of climate change on plant phenology. *The Environmentalist*. 2008;28:143-147. DOI: 10.1007/s10669-007-9153-1

Kharlamova N.F. Assessment and forecast of modern climate changes in the Altai region (Otsenka i prognoz sovremennykh izmeneniy klimata Altayskogo regiona). Barnaul: AltSU; 2013. [in Russian] (Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: АлтГУ; 2013).

Kharlamova N.F., Kazartseva O.S. Assessment of spatial variability of maximum snow reserves in the Altai Territory with the use of landscape-indicator methods. *Geography and nature management of Siberia*. 2017;23:206-220. [in Russian] (Харламова Н.Ф., Казарцева О.С. Оценка пространственной изменчивости максимальных снегозапасов на территории Алтайского края

с применением ландшафтно-индикационных методов. *География и природопользование Сибири*. 2017;23:206-220).

Plennik R.Ya. Morphological evolution of legumes of Southeast Altai (Morfologicheskaya evolyutsiya bobovykh Yugo-Vostochnogo Altaya). Novosibirsk; 1976. [in Russian] (Пленник Р.Я. Морфологическая эволюция бобовых Юго-Восточного Алтая. Новосибирск; 1976).

Sadokov V.P., Kozeltseva V.F., Kuznetsova N.N. Determination of spring dates of stable transition of daily average air temperature through 0, +5°C, their forecast and assessment. *Proceedings of Hydrometcentre of Russia*. 2012;(348):144-150. [in Russian] (Садоков В.П., Козельцева В.Ф., Кузнецова Н.Н. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, +5°C, их прогноз и оценка. *Труды Гидрометцентра России*. 2012;(348):144-150).

Sytin A.K. Phenetic variability of *Astragalus onobrychis* in the European part of the USSR (Feneticheskaya izmenchivost espartsetovogo astragala na territorii Yevropeyskoy chasti SSSR). In: *Phylogeny of Higher Plants: Proceedings of the VI Moscow Meeting on Plant Phylogeny* (*Filogeniya vysshykh rasteniy: Materialy VI Moskovskogo soveshchaniya po filogenii rasteniy*). Moscow; 1982. p.139-141. [in Russian] (Сытин А.К. Фенетическая изменчивость эспарцетового астрагала на территории Европейской части СССР. В кн.: *Филогения высших растений: Материалы VI Московского совещания по филогении растений.* Москва; 1982. С.139-141).

Wadgymar S.M., Ogilvie J.E., Inouye D.W., Weis A.E., Anderson J.T. Phenological responses to multiple environmental drivers under climate change: insights from a long-term observational study and a manipulative field experiment. *New Phytologist*. 2018;218(2):517-529. DOI: 10.1111/nph.15029

Weather and Climate. Reference and Information Portal (Pogoda i klimat. Spravochno-informatsionny portal). 2004–2020. [in Russian] (Погода и климат. Справочно-информационный портал. 2004–2020). URL: http://www.pogodaiklimat.ru/ [дата обращения: 10.05.2019].

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

Корниевская Т.В. Прохождение фенологических фаз у астрагалов, интродуцируемых в условиях Кулундинской степи. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):97-104. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-97-104

Kornievskaya T.V. Passage through phenophases by milkvetches introduced into the environments of the Kulunda Steppe. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):97-104. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-97-104

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/10.30901/2227-8834-2020-1-97-104

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
Kornievskaya T.V. https://orcid.org/0000-0001-912309786

Сортоизучение вишни степной в Челябинской области

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-105-109
CC BY
УДК 634.22:631.524.84/.85
Поступление/Received: 03.02.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

Studying steppe cherry cultivars in Chelyabinsk Province

А. А. ВАСИЛЬЕВ, Ф. М. ГАСЫМОВ, В. Р. ГАЛИМОВ

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН, 620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112, корп. А
kartofel_chel@mail.ru

A. A. VASILIEV, F. M. GASYMOV, V. R. GALIMOV

Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, 112, bldg. A, Belinskogo Street, Yekaterinburg 620142, Russia
kartofel_chel@mail.ru

Целью исследований являлось изучение сортов вишни степной, имеющих различное экологическое происхождение, по продуктивности, экологической пластичности и стабильности в условиях Челябинской области. Оценка изученного сортимента позволила выделить адаптивные сорта вишни: ‘Изобильная’ (4,39 т/га; КА = 1,54), ‘Щедрая’ (4,42 т/га; КА = 1,37), ‘Галимовка’ (3,83 т/га; КА = 1,36), ‘Маяк’ (4,04 т/га; КА = 1,30), ‘Ашинская’ (3,42 т/га; КА = 1,28) и ‘Мечта Зауралья’ (3,29 т/га; КА = 1,07). Наибольший интерес среди них имеют сорта интенсивного типа, хорошо отзывающиеся на улучшение условий выращивания. Интенсивными являются сорта вишни степной селекции Свердловской селекционной станции садоводства: ‘Щедрая’ (b_i = 1,99), ‘Мечта Зауралья’ (b_i = 1,85) и ‘Маяк’ (b_i = 1,47). Челябинский сорт ‘Галимовка’, переданный на государственное испытание в 2018 г., относится к экологически пластичным и стабильным сортам (b_i = 0,77; S_i^2 = 0,5). Тогда как сорт ‘Ашинская’ за период испытания зарекомендовал себя как генотип нейтрального типа, слабо реагирующий на изменение условий среды (b_i = 0,32; S_i^2 = 0,1). Новый сорт вишни ‘Вита’ селекции Свердловской селекционной станции садоводства, отличающийся достаточно высокой продуктивностью (3,05 т/га), относится к экологически пластичным сортам (b_i = 1,10), но характеризуется недостаточной стабильностью урожая в условиях Южного Урала (S_i^2 = 2,2).

Ключевые слова: генотип, продуктивность, экологическая пластичность, стабильность, адаптивность.

The aim of the research was to study steppe cherry cultivars of various environmental origin in the context of their productivity, environmental plasticity and stability in the environments of Chelyabinsk Province. Evaluation of the studied set of cultivars helped to identify adaptable steppe cherries: ‘Izobilnaya’ (4.39 t/ha; KA = 1.54), ‘Shchedraya’ (4.42 t/ha; KA = 1.37), ‘Galimovka’ (3.83 t/ha; KA = 1,36), ‘Mayak’ (4.04 t/ha; KA = 1.30), ‘Ashinskaya’’ (t/ha 3.42; KA = 1.28) and ‘Mechta Zauralya’ (3.29 t/ha; KA = 1.07). The most interesting among them are intensive-type cultivars responding well to improved growing conditions, such as the steppe cherry cultivars developed at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station: ‘Shchedraya’ (b_i = 1.99), ‘Mechta Zauralya’ (1.85) and ‘Mayak’ (1.47). The Chelyabinsk cultivar ‘Galimovka’, submitted for state trials in 2018, falls under the category of environmentally plastic and stable cultivars (b_i = 0.77; S_i^2 = 0.5), while cv. ‘Ashinskaya’ demonstrated during the tests a neutral genotype, as it poorly responded to changing environmental conditions (b_i = 0.32; S_i^2 = 0.1). A new cultivar, ‘Vita’, with a fairly high yield (3.05 t/ha), developed at Sverdlovsk Horticultural Breeding Station, belongs to the environmentally plastic category (b_i = 1.10), but its yield stability proved to be insufficient in the environments of the Southern Urals (S_i^2 = 2.2).

Key words: genotype, productivity, environmental plasticity, stability, adaptability.

Введение

Вишня – *Prunus* L. subgen. *Cerasus* (Mill.) A. Gray (Rosaceae Juss.) –относится к числу важнейших косточковых плодовых культур. Селекция вишни на Южном Урале берет свое начало в 30-х годах XX века, когда ученые Уральской зональной плодово-ягодной опытной станции (ныне Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства – филиал ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук») начали мобилизацию и изучение генофонда этой косточковой культуры (Isakova, 2016). Наибольший интерес для селекции представляет вишня кустарниковая, или вишня степная – *Prunus fruticosa* Pall. (= *Cerasus fruticosa* (Pall.) Woronow).

Вишня степная – тетраплоидный вид (2n = 32), в диком виде растет в Юго-Восточной Азии, в Средней и Восточной Европе, особенно широко распространена в лесостепной зоне Заволжья, Южного Урала и Западной Сибири. Считается наиболее зимостойким (переносит морозы до –50°С) видом вишни (Kolesnikova, 2014; Mochalova, 2018; Slepneva, 2018).

Сегодня в Реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, внесено два сорта вишни степной челябинской селекции – ‘Ашинская’ и ‘Курчатовская’ (Galimov, 2011).

Широкое распространение коккомикоза на Южном Урале обуславливает успех при возделывании вишни использованием высокопродуктивных сортов этой культуры, сочетающих устойчивость к возбудителю этой болезни – *Blumeriella jaapii* (Rehm) Arx (= *Coccomyces hiemalis* Higgins) – с высокой адаптивностью, то есть способностью приспосабливаться к различным экологическим условиям (Crespel et al., 2006; Gurin, 2016; Tikhonchuk et al., 2016; Kanafina, 2017).

Выделение и использование пластичных сортов вишни и других плодово-ягодных культур дает возможность

существенно увеличить экологическую устойчивость садоводства в Уральском регионе (Gasimov, 2015; Lezin et al., 2015; Lenivtseva et al., 2017; Isakova, 2019).

Целью исследований была оценка перспективных сортов вишни степной по продуктивности, экологической пластичности и стабильности в условиях Челябинской области.

Материал и методы исследования

Исследования проведены в 2016–2019 гг. на опытном поле Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства. Объект исследований – сорта вишни степной селекции Свердловской селекционной станции садоводства: 'Щедрая' (районирован в 1959 г.), 'Маяк' (районирован в 1974 г.), 'Пламенная' (районирован в 1989 г.), 'Изобильная' (районирован в 1992 г.), 'Вита' (районирован в 2020 г.), 'Огневушка' и '1-53-86'; сорта челябинской селекции: 'Ашинская' (районирован в 2002 г.) и 'Галимовка' (передан на государственное испытание в 2018 г.), вишнево-черешневый гибрид 'Черешневская' (районированный в 2010 г.) селекции Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства (ВСТИСП); а также сорт 'Мечта Зауралья' (год районирования 2004), выделенный садоводом-любителем М. Ф. Криволаповым в г. Шимиха Курганской области, но переданный на ГСИ и районированный Свердловской селекционной станцией садоводства.

При проведении исследований руководством служили классические методики (Dzhigadlo et al., 1995; 1999). Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа (Dospekhov, 1985). Экологическую пластичность сортов вишни определяли по методике И. А. Драгавцевой, Л. М. Лопатиной (Dragavtseva, Lopatina, 1999) и S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина (Zykin et al, 1984). В качестве стандарта (st) был использован сорт 'Ашинская'.

Метеорологические условия в период исследований были различными. Наиболее холодной оказалась зима 2016/2017 г. (–13,8°С), тогда как зима 2015/2016 г. (–10,3°С) была в среднем на 2,2°С теплее обычного. Зимние периоды 2017/2018 и 2018/2019 г. были на 0,9 и 1,0°С ниже нормы. Наиболее малоснежной была зима 2017/2018 г. (36 мм, или 58% от нормы), тогда как в зиму 2015/2016 г. осадков выпало на 20% больше нормы. Годовое количество осадков варьировало от 404 мм (2018 г.) до 457 мм (2016 г.). Наименьшая сумма летних осадков отмечалась в 2019 г. (161 мм), наибольшая – в 2017 г. (247 мм); в 2018 и 2016 г. (188 и 189 мм) количество осадков за лето было на 6,5–7,0% меньше нормы (202 мм). По величине гидротермического коэффициента условия вегетационного периода (май-сентябрь) 2016, 2018 и 2019 г. оценивались как недостаточно влажные (ГТК = 1,13; 1,04 и 1,03 соответственно), а условия 2017 г. как оптимально влажные (ГТК = 1,45).

Результаты исследований

Урожайность изученных сортов в среднем за годы исследований составила 2,96 т/га. Этот показатель в значительной степени зависел от сорта и погодных и фитосанитарных условий вегетационного периода. Наиболее благоприятными для формирования высокого урожая вишни оказались условия 2018 г., когда средняя урожайность изученных сортов составила 4,58 т/га, а индекс среды (I_i) был равен 0,42. Наибольший урожай плодов в условиях 2018 г. имел курганский (по месту выделения) сорт 'Мечта Зауралья' (7,65 т/га), вслед за ним расположились сорта Свердловской селекционной станции садоводства: 'Щедрая', 'Изобильная', 'Вита', 'Маяк' и 'Пламенная' (6,88; 5,80; 5,70; 5,37 и 4,88 т/га соответственно), а также сорт челябинской селекции 'Галимовка' (5,00 т/га). Урожайность сорта-стандарта 'Ашинская' (4,00 т/га) была ниже средней по опыту (табл. 1).

Таблица. Урожайность и параметры пластичности сортов вишни в условиях Челябинской области, т/га
Table. Yield and plasticity parameters of steppe cherry cultivars in the environments of Chelyabinsk Province, t/ha

Сорт	Урожайность, т/га					Коэффициенты		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее	b_i	S_i^2	КА
Ашинская (st)	3,12	3,62	4,00	2,93	**3,42**	0,32	0,1	1,28
Щедрая	5,55	4,61	6,88	0,62	**4,42**	1,99	1,7	1,37
Изобильная	5,11	3,83	5,80	2,81	**4,39**	1,02	0,2	1,54
Маяк	6,22	3,67	5,37	0,92	**4,04**	1,47	3,2	1,30
Галимовка	3,52	4,37	5,00	2,41	**3,83**	0,77	0,5	1,36
Мечта Зауралья	1,55	1,42	7,65	2,52	**3,29**	1,85	5,1	1,08
Вита	2,11	1,61	5,70	2,76	**3,05**	1,10	2,2	1,07
Пламенная	3,55	2,50	4,88	1,10	**3,01**	1,27	0,1	0,97
Огневушка	2,67	2,42	3,60	1,18	**2,47**	0,78	0,1	0,83
Нимфа	1,33	2,83	2,52	0,71	**1,85**	0,48	1,0	0,63
Черешневая	1,77	0,00	2,61	0,64	**1,25**	0,77	0,7	0,39
1-53-86	0,49	0,17	0,98	0,55	**0,55**	0,18	0,1	0,20
Среднее	**3,08**	**2,59**	**4,58**	**1,60**	**2,96**	–	–	–
Индекс I_i	0,12	–0,37	1,62	–1,36	–	–	–	–
$НСР_{05}$	0,50	0,46	0,42	0,17	–	–	–	–

Наименее благоприятные условия за период исследований наблюдались в 2019 г., когда средняя продуктивность вишни не превышала 1,60 т/га, а лучшие результаты демонстрировали сорта 'Ашинская', 'Изобильная', 'Вита', 'Мечта Зауралья' и 'Галимовка' (2,93; 2,81; 2,76; 2,52 и 2,41 т/га соответственно). При этом отмечено резкое снижение урожайности плодов у сортов селекции Свердловской селекционной станции садоводства ('Щедрая' – в 11; 'Маяк' – в 5,8; 'Пламенная' – в 4,4; 'Нимфа' – в 3,5; 'Огневушка' – в 3,0 раза), у сорта 'Мечта Зауралья' – в 3,0 раза (выделенного в Курганской обл.) и сорта селекции ВСТИСП ('Черешневая' – в 4,1 раза) по сравнению с благоприятным годом. Заметно меньше снижался урожай у местных сортов вишни ('Ашинская' – в 1,4; 'Галимовка' – в 2,1 раза), а также у сорта 'Изобильная' селекции Свердловской селекционной станции садоводства (в 2,1 раза).

В условиях 2016 г., когда летний период был на 1,7°С теплее обычного, по продуктивности выделились сорта селекции Свердловской селекционной станции садоводства: 'Маяк', 'Щедрая' и 'Изобильная' (6,22; 5,55 и 5,11 т/га соответственно). В 2017 г. (при температуре летнего периода 17,9°С, что на 0,4°С меньше нормы) высокой урожайностью отличались сорт челябинской селекции 'Галимовка' (4,37 т/га) и сорт селекции Свердловской селекционной станции садоводства 'Щедрая' (4,61 т/га), тогда как сорт селекции ВСТИСП 'Черешневая' в 2017 г. вообще не имел урожая.

Оценка экологической пластичности изученных сортов вишни показала, что восемь из них обладают высокой экологической стабильностью (коэффициент S_i^2 близок к 0): 'Ашинская', 'Пламенная', 'Огневушка', '1-53-86' (S_i^2 = 0,1), 'Изобильная' (S_i^2 = 0,2), 'Галимовка' (S_i^2 = 0,5), 'Черешневая' (S_i^2 = 0,7) и 'Нимфа' (S_i^2 = 1,0). Наибольшую ценность среди вышеназванных сортов имеют экологически пластичные генотипы с коэффициентом регрессии (b_i) близким к единице, отличающиеся достаточно высокой продуктивностью (Vasiliev, Gasymov, 2019). Это сорта: 'Изобильная' (b_i = 1,02), 'Галимовка' (b_i = 0,77) и 'Пламенная' (b_i = 1,27). Сорта вишни 'Огневушка' (b_i = 0,78), 'Черешневая' (b_i = 0,77) при высокой пластичности имеют урожайность плодов ниже средней – 2,47 и 1,25 т/га соответственно.

Кроме того, заслуживает внимания экологически стабильный сорт 'Ашинская', относящийся к группе нейтральных сортов (b_i = 0,32). Такие сорта ценны тем, что при достаточно высокой продуктивности (3,42 т/га) слабо реагируют на изменение условий выращивания (Loginov, Kazak, 2015). Тогда как нейтральный образец '1-53-86' (b_i = 0,18) не представляет интереса для Челябинской области из-за очень низкой урожайности (0,18 т/га).

Высокую селекционную ценность имеют сорта интенсивного типа с коэффициентом пластичности значительно больше единицы (Vasiliev, Gasymov, 2019). В нашем опыте к интенсивным отнесены сорта селекции Свердловской селекционной станции садоводства 'Щедрая' (b_i = 1,99) и 'Маяк' (b_i = 1,47), а также сорт 'Мечта Зауралья' (b_i = 1,85), выделенный в Курганской области.

Сорт вишни степной 'Вита' селекции Свердловской селекционной станции садоводства, отличающийся достаточно высокой продуктивностью (3,05 т/га), относится к экологически пластичным сортам (b_i = 1,10), но характеризуется недостаточной стабильностью урожая (S_i^2 = 2,2).

Среди изученных сортов вишни наибольшую адаптивность имел сорт 'Изобильная' (КА = 1,54), вслед за ним расположились сорта 'Щедрая', 'Галимовка', 'Маяк', 'Ашинская' и 'Мечта Зауралья' (1,37; 1,36; 1,30; 1,28 и 1,07 соответственно). Именно эти сорта следует использовать на территории Челябинской области.

Заключение

Наибольшей адаптивностью в условиях Челябинской области отличаются сорта вишни степной 'Изобильная', 'Щедрая', 'Галимовка', 'Маяк', 'Ашинская' и 'Мечта Зауралья'. Среди них к генотипам интенсивного типа относятся сорта селекции Свердловской селекционной станции садоводства: 'Щедрая' (b_i = 1,99), 'Мечта Зауралья' (b_i = 1,85) и 'Маяк' (b_i = 1,47).

Сорт челябинской селекции 'Галимовка', переданный на государственное сортоиспытание в 2018 г., относится к экологически пластичным и стабильным сортам (b_i = 0,77; S_i^2 = 0,5). Тогда как сорт 'Ашинская' за период испытания зарекомендовал себя как генотип нейтрального типа, слабо реагирующий на изменение условий среды (b_i = 0,32; S_i^2 = 0,1).

Наибольшую продуктивность в среднем за годы исследований имели следующие сорта: 'Щедрая', 'Изобильная', 'Маяк', 'Галимовка', 'Ашинская' и 'Мечта Зауралья' (4,42; 4,39; 4,04; 3,83; 3,42 и 3,29 т/га соответственно). На уровне среднего по опыту была урожайность плодов у сортов 'Вита' (3,05 т/га) и 'Пламенная' (3,01 т/га), ниже среднего – у сортов 'Огневушка', 'Нимфа', 'Черешневая' и '1-53-86' (2,47; 1,85; 1,25 и 0,55 т/га соответственно).

References/Литература

Crespel L., Ricci S.C., Gudin S. The production of *2n* pollen in rose. *Euphytica*. 2006;151:155-164. DOI: 10.1007/s10681-006-9136-1

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

Dragavtseva I.A., Lopatina L.M. Environmental plasticity of a variety and its study (Ekologicheskaya plastichnost sorta i eye izucheniye). In: E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (eds). *Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops* (*Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur*). Orel: VNIISPK, 1999. p.120-121. [In Russian] (Драгавцева И.А., Лопатина Л.М. Экологическая пластичность сорта и ее изучение. В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999. С.120-121).

Dzhigadlo E.N., Kolesnikova A.F., Eremin G.V., Morozova T.V., Debiskaeva S.Yu., Kanshina M.V., Medvedeva N.I., Simagin V.S. Stone fruit crops (Kostochkovye kultury). In: E.N. Sedov, T.P. Ogoltsova (eds). *Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops* (*Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur*). Orel: VNIISPK, 1999. p.300-350. [in Russian] (Джигадло Е.Н., Колесникова А.Ф., Еремин Г.В., Морозова Т.В., Дебискаева С.Ю., Каньшина М.В., Медведева Н.И., Симагин В.С. Косточковые культуры. В кн.: *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных*

культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999. С.300-350).

Dzhigadlo E.N., Schekotova L.A., Morozova T.V. Cherry breeding (Selektsiya vishni). In: E.N. Sedov (ed.). *Program and methodology of fruit, berry and nut crop breeding* (*Programma i metodika selektsii plodovykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur*). Orel: VNIISPK; 1995. p.234-256. [in Russian] (Джигадло Е.Н., Щекотова Л.А., Морозова Т.В. Селекция вишни. В кн.: *Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур* / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 1995. С.234-256).

Galimov V.R. And problems of breeding cherries in the Southern Urals. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2011;(5):53-54. [in Russian] (Галимов В.Р. Состояние и задачи селекции вишни на Южном Урале. *Достижения науки и техники АПК*. 2011;(5):53-54).

Gasimov F.M. Chelyabinsk varieties of cherry that resistant to kokkomikoz. In: *Northern Cherry. Proceedings of the III All-Russian Symposium of Stone Fruit Experts* (*Severnaya vishnya. Sbornik materialov III Vserossiyskogo simpoziuma kostochkovedov*). Chelyabinsk; 2015. p.170-174. [in Russian] (Гасымов Ф. М. Челябинские сорта вишни устойчивые к коккомикозу. В кн.: *Северная вишня: Сборник материалов III Всероссийского симпозиума косточковедов*. Челябинск; 2015. С.170-174).

Gurin A.G. Physiological aspects of mineral fertilizers application in fruit and decorative nursery-garden. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2016;3(51):92-98. [in Russian] (Гурин А.Г. Физиологические аспекты применения минеральных удобрений в плодово-декоративном питомнике. *Российский журнал сельскохозяйственных и социально-экономических наук.* 2016;3(51):92-98). DOI: 10.18551/rjoas.2016-03.10

Isakova M.G. The formation of cherry cultivation in the Middle Urals (Stanovleniye kultury vishni na Srednem Urale). In: *State and prospects for the development of northern horticulture: proceedings of a scientific and practical conference* (*Sostoyaniye i perspektivy razvitiya severnogo sadovodstva: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii*). Yekaterinburg; 2016. p.73-82. [in Russian] (Исакова М.Г. Становление культуры вишни на Среднем Урале. В кн.: *Состояние и перспективы развития северного садоводства: материалы научно-практической конференции.* Екатеринбург; 2016. С.73-82).

Isakova M.G. The variety of cherry Vita. *Contemporary Horticulture*. 2019;(2):40-45. [in Russian] (Исакова М.Г. Сорт вишни Вита. *Современное садоводство*. 2019;(2):40-45). DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10207

Kanafina Yu.F. The study of distant inter-specific hybrids in breeding on resistance to coccomycosis. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2017;48(1):119-123. [in Russian] (Канафина Ю.Ф. Изучение отдаленных межвидовых гибридов вишни в селекции на устойчивость к коккомикозу. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2017;48(1):119-123).

Kolesnikova A.F. Breeding of common cherries in the past and present (Selektsiya vishni obyknovennoy v proshlom i nastoyashchem). Orel; 2014. [in Russian] (Колесникова А.Ф. Селекция вишни обыкновенной в прошлом и настоящем. Орел; 2014).

Lenivtseva M.S., Radchenko E.E., Kuznetsova A.P. Genetic diversity of stone fruit varieties (genus *Prunus* L.) resistant to leaf spot (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(5):895-904. [in Russian] (Ленивцева М.С., Радченко Е.Е., Кузнецова А.П. Генетическое разнообразие сортов косточковых культур (Род *Prunus* L.), устойчивых к коккомикозу (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(5):895-904). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.895rus

Lezin M.S., Slepneva T.N., Volchanskaya O.A. Results of studying of cherry at the Chelyabinsk SVS of Fruit and Berry Crops. In: *Northern Cherry. Proceedings of the III All-Russian Symposium of Stone Fruit Experts* (*Severnaya vishnya. Sbornik materialov III Vserossiyskogo simpoziums kostochkovedov*). Chelyabinsk; 2015. p.182-186. [in Russian] (Лезин М.С., Слепнева Т.Н., Волчанская О.А. Результаты изучения вишни на Челябинском ГСУ плодово-ягодных культур. В кн.: *Северная вишня: Сборник материалов III Всероссийского симпозиума косточковедов*. Челябинск; 2015. Челябинск; 2015. С.182-186).

Loginov Y.P., Kazak A.A. Ecological plasticity of potatoes cultivars in Tyumen region. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015;1(4):24-28. [in Russian] (Логинов Ю.П., Казак А.А. Экологическая пластичность сортов картофеля в условиях Тюменской области. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015;1(4):24-28).

Mochalova O.V. Peculiarities microsporogenesis in hexaploid hybrids of steppe cherry (*Prunus fruticosa* Pall.). *Contemporary Horticulture*. 2018;(3):47-55. [in Russian] (Мочалова О.В. Особенности микроспорогенеза у гексаплоидных гибридов вишни степной (*Prunus fruticosa* Pall.). *Современное садоводство*. 2018;(3):47-55). DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10307

Slepneva T.N. Scientific support of horticulture in the Urals (Nauchnoye obespecheniye sadovodstva na Urale). *Niva Urala = Fields of the Urals*. 2018;(2):24. [in Russian] (Слепнева Т.Н. Научное обеспечение садоводства на Урале. *Нива Урала*. 2018;(2):24).

Tikhonchuk P.V., Schegorets O.V., Zakharova E.B., Churilova K.S., Volkova E.A. Amur region agriculture system: problems and ways of problem solving. *Far East Agrarian Bulletin*. 2016;3(39):130-139. [in Russian] (Тихончук П.В., Щегорец О.В., Захарова Е.Б., Чурилова К.С., Волкова Е.А. Система земледелия Амурской области: проблемы и пути решения. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2016;3(39):130-139).

Vasiliev A.A., Gasymov F.M. Assessment of ecological plasticity of plum and apricot varieties. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2019;2(50):15-20. [in Russian] (Васильев А.А., Гасымов Ф.М. Оценка экологической пластичности сортов сливы и абрикоса. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2019;2(50):15-20). DOI: 10.31563/1684-7628-2019-50-2-15-21

Zykin V.A., Meshkova V.V., Sapega V.A. Ecological plasticity parameters of agricultural plants, their calculation and analysis: guidelines (Parametry ekologicheskoy plastichnosti selskokhozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz: metodicheskiye rekomendatsii). Novosibirsk; 1984. [in Russian] (Зыкин В. А., Мешкова В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск; 1984).

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

Васильев А.А., Гасымов Ф.М., Галимов В.Р. Сортоизучение вишни степной в Челябинской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):105-109. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-105-109

Vasiliev A.A., Gasymov F.M., Galimov V.R. Studying steppe cherry cultivars in Chelyabinsk Province. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):105-109. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-105-109

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

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-105-109

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

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest

ORCID
Gasymov F.M. https://orcid.org/0000-0002-5738-0046

Сорта овса немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118
CC BY
УДК 633.13:631.527
Поступление/Received: 30.05.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

А. Д. КАБАШОВ[1]*, И. Г. ЛОСКУТОВ[2], Н. М. ВЛАСЕНКО[1], Я. Г. ЛЕЙБОВИЧ[1], А. С. МАРКОВА[1], З. В. ФИЛОНЕНКО[1], Л. Г. РАЗУМОВСКАЯ[1]

[1] Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026 Россия, Московская область, Одинцовский район, пос. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
[2] Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
** ovesmoskov@yandex.ru*

Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review)

A. D. KABASHOV[1]*, I. G. LOSKUTOV[2], N. M. VLASENKO[1], YA. G. LEIBOVICH[1], A. S. MARKOVA[1], Z. V. FILONENKO[1], L. G. RAZUMOVSKAYA[1]

[1] Nemchinovka Federal Research Center, 6 Agrokhimikov St., Novoivanovskoye, Odintsovsky District, Moscow Province 143026, Russia
[2] N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
** ovesmoskov@yandex.ru*

Главным направлением селекции сельскохозяйственных культур является увеличение продуктивности и улучшение качественных показателей зерна. Для формирования высокой продуктивности растений необходимо создание сортов с высоким потенциалом продуктивности и качества, а также устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды. Успешное решение этих и вновь возникающих проблем селекции возможно лишь при наличии соответствующего исходного материала.
При создании сортов овса в скрещиваниях использовался исходный материал из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). В статье приводится его краткая характеристика.
Обсуждаются результаты работ по созданию сортов овса в ФИЦ «Немчиновка» с 2007 по 2017 г. Дается описание всем десяти созданным сортам овса с подробной родословной по каждой комбинации скрещивания. Приводится анализ родословных, показывающий ограниченное число родительских форм для скрещивания. Обсуждается проблема использования исходного материала для селекции и сужения генетической основы при создании новых сортов.

Ключевые слова: исходный материал, линия, скрещивание, родословная.

The main trend in crop breeding is to increase productivity and improve grain quality indicators. The formation of high crop productivity requires cultivars with high potential for productivity and quality as well as with resistance to biotic and abiotic environmental factors. Successful solution of these and emerging breeding problems is possible only if appropriate source material is employed.
Source material from the Vavilov Institute's collection of plant genetic resources was used in crosses aimed at the development of oat cultivars. Its brief description is presented here.
The results of the breeding work on oat cultivars at the Nemchinovka Federal Research Center from 2007 through 2017 are discussed. Descriptions are given to all ten developed oat cultivars with a detailed pedigree for each combination of crosses. Pedigree analysis has been performed, and its results show a limited number of parental forms for crosses. The problem of source material utilization in breeding practice and narrowing of the genetic base in the process of cultivar development is discussed.

Key words: source material, breeding, line, crossing, pedigree.

Введение

Главным направлением селекции сельскохозяйственных культур является увеличение продуктивности и улучшение качественных показателей зерна. Для формирования высокой продуктивности растений необходимо создание сортов с высоким потенциалом продуктивности и качества, а также устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды. Успешное решение этих и вновь возникающих проблем селекции возможно лишь при наличии соответствующего исходного материала (Loskutov, 2009). Как отмечают Ф. Бриггс и П. Ноулз, планомерное скрещивание тщательно подобранных родителей стало в XX веке преобладающим методом селекции культурных растений (Briggs, Knowles, 1972). В свою очередь, «скрещивание тщательно подобранных родителей» у селекционеров ассоциируется прежде всего с использованием эколого-географического принципа подбора пар. Как отмечает П. П. Лукьяненко, скрещивания отдаленных эколого-географических форм в Краснодарском НИИСХ последовательно применяют с 30-х годов XX столетия в селекции озимой пшеницы в сочетании с методом повторных скрещиваний и широким направленным индивидуальным отбором (Lukyanenko, 1973). Опыт использования указанного принципа подбора пар в селекции озимой пшеницы кубанские селекционеры применяют и в работе с другими культурами. Так, В. М. Шевцов и Н. В. Серкин указывают, что принцип эколого-географического подбора пар при скрещиваниях является ведущим при создании сортов озимого и ярового ячменя (Shevtsov, Serkin, 2009). В Немчиновке в селекции овса, по данным Э. Д. Неттевича

и других, родительские пары для скрещивания подбирают по эколого-географическому принципу с учетом структуры урожая и других хозяйственно ценных признаков (Nettevich et al., 1971; 1980).

По мнению Е. В. Лызлова, в селекции высокоурожайных, отзывчивых на удобрение и устойчивых к полеганию сортов овса большой интерес представляют образцы из Швеции, ГДР, ФРГ и других стран западной Европы, где почвенно-климатические условия близки к условиям центральных регионов Нечерноземной зоны нашей страны. Представляют также ценность ряд сортов американской и канадской селекции, отличающихся комплексным иммунитетом к грибным болезням, засухоустойчивостью и высоким качеством зерна (Nettevich et al., 1971).

Заслуживает внимания точка зрения С. Бороевича, который отмечает, что после Второй мировой войны развитие торговли, средств сообщения, открытие границ между государствами привели к широкому обмену информацией и материалом, и географическая удаленность исходного материала утратила свой смысл (Boroevich, 1984). Уместно добавить, что в XXI веке эта тенденция стала еще неизмеримо сильнее. В итоге автор предлагает вместо термина «географическая удаленность» при подборе родительских пар пользоваться понятием «генетическая дивергентность».

А. А. Гончаренко, подчеркивая важность при подборе пар эколого-географической отдаленности сортов, отмечает, что при этом ценность родительских сортов определяется не степенью их географического удаления, а генетическими различиями и наличием у них таких признаков и свойств, которые отбор мог создать в специфических почвенно-климатических условиях, возникших в результате влияния географической изоляции (Goncharenko, 2014).

Обсуждение результатов

В лаборатории селекции и первичного семеноводства овса Федерального исследовательского центра «Немчиновка» используется классическая схема селекционного процесса. Коллекционный питомник лаборатории ежегодно пополняется образцами овса из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Основным методом создания исходного материала является гибридизация географически и генетически отдаленных форм с учетом элементов продуктивности, продолжительности вегетационного периода, устойчивости к болезням и качества зерна.

Лабораторией селекции и первичного семеноводства овса ФИЦ «Немчиновка» в период с 2007 по 2017 г. создано десять новых сортов ярового овса (шесть из них – совместно с Ульяновским НИИСХ), включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ (https://reestr.gossort.com/). Перечень этих сортов с регионами допуска приведен в таблице 1.

Девять сортов получены методом сложной ступенчатой гибридизации с последующим индивидуальным отбором. Родительские пары для скрещивания подобрали на основе эколого-географического принципа с учетом продуктивности растений и ее элементов, длины вегетационного периода, устойчивости к болезням, вредителям, с учетом показателей качества зерна. У сорта 'Дерби', на одном из этапов использован метод межвидовой гибридизации.

В качестве исходного материала для селекции использовали образцы мировой коллекции генетических ресурсов ВИР как отечественного, так и зарубежного происхождения, с преобладанием последних. В родословной рассматриваемых сортов задействован двадцать один сорт мировой коллекции ВИР, в том числе четыре сорта из СССР/РФ, по три из Германии, Голландии и Швеции, по два из США и Канады, по одному из Польши, Эквадора, Эфиопии и Колумбии. Таким образом, в создании наших сортов были использованы сортообразцы из Европы, Северной и Южной Америки, Африки. Информация по исходным формам для селекции представлена в таблице 2.

В данной таблице характеристика образцов составлена на основе их изучения в коллекционных питомниках ФИЦ «Немчиновка» и по данным Каталогов мировой коллекции ВИР (Catalogue..., 1972; 1984; 1989; 1990; 1997; 1999; 2012).

В создании рассматриваемой группы сортов использовались комбинации скрещивания, полученные в период с 1969 по 1989 г. За двадцатилетний период было получено 1432 гибридные комбинации, причем только 22 из них стали родоначальниками будущих сортов. Процент удачи в данном случае составил 1,5%.

Таблица 1. Сорта овса немчиновской селекции, включенные в Госреестр в 2007–2017 гг.

Table 1. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in 2007–2017

Название сорта	Год включения в реестр	Регионы допуска
Лев	2007	2, 3, 5
Конкур*	2008	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Дерби*	2009	7, 8
Рысак*	2009	7, 8, 9
Яков	2010	2, 3, 4, 5, 7, 8
Буланый	2012	3, 4, 5
Залп	2015	2, 3
Стиплер*	2016	4, 7, 9
Всадник*	2017	7
Кентер*	2017	4, 7, 9

* в соавторстве с Ульяновским НИИСХ
* developed jointly with Ulyanovsk Research Institute of Agriculture

Таблица 2. Образцы овса из мировой коллекции ВИР – родительские формы сортов овса немчиновской селекции

Table 2. Oat accessions from the VIR global collection used as parents for oat cultivars developed at Nemchinovka

Название	№ по каталогу ВИР	Год включения в селекционный процесс	Происхождение	Вид, разновидность	Характеристика
Putnam 61	11393	1969	США	*A. sativa* var. *aurea*	скороспелость, устойчивость к пыльной головне, корончатой и стеблевой ржавчине, засухоустойчивость
Sörbo	11292	1969	Швеция	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, засухоустойчивость, устойчивость к шведской мухе и овсяной цистообразующей нематоде
Ponta	11585	1970	Швеция	*A. sativa* var. *mutica*	устойчивость к полеганию, многозерность, продуктивность
Fraser	11557	1970	Канада	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, засухоустойчивость, устойчивость к стеблевой ржавчине, пыльной головне, толерантность к корончатой ржавчине, устойчивость к корневой нематоде
Astor	11379	1971	Нидерланды	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, устойчивость к полеганию и поражению овсяной нематодой
Panter	11687	1971	Нидерланды	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, высокорослость, устойчивость к полеганию
Selma	11584	1971	Швеция	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, устойчивость к корневой нематоде, скороспелость
Endspurt	12070	1975	ФРГ	*A. sativa* var. *aurea*	продуктивность, устойчивость к корончатой ржавчине и поражению пыльной головней
WZS-437	12129	1976	Нидерланды	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, крупнозерность, отзывчивость на орошение
SC-CA-1-5-5-71-42	12028	1976	Эквадор	*A. sativa, A. byzantina*	устойчивость к корончатой и стеблевой ржавчине
Горизонт	12113	1976	СССР	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность зерна и зеленой массы, многозерность метелки
Sunbury	12298	1977	США	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, устойчивость к бактериозу и корончатой ржавчине
Черкасский 1	13476	1980	СССР	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, крупнозерность, устойчивость к пыльной головне, высокобелковость
CI 8251	13336	1981	США	*A. sativa* var. *grisea*	продуктивность, крупнозерность, устойчивость к корончатой ржавчине, пыльной головне, ВЖКЯ
Erich	13369	1981	ФРГ	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, крупнозерность
Hinoat	12221	1982	Канада	*A. sativa* var. *mutica*	скороспелость, высокобелковость, низкая пленчатость, устойчивость к септориозу, устойчивость к корончатой ржавчине
Komes	14017	1988	Польша	*A. sativa* var. *aurea*	продуктивность, скороспелость, многозерность метелки, устойчивость к пыльной головне
Алтайский крупнозерный	14045	1991	РФ	*A. sativa* var. *mutica*	продуктивность, крупнозерность
Soroca	13243	1994	Колумбия	*A. sativa*, *A. byzantina*	продуктивность, устойчивость к септориозу, устойчивость к корончатой ржавчине
Аргамак	14648	1996	РФ	*A. sativa* var. *mutica*	скороспелость, продуктивность, высокорослость, средняя устойчивость к септориозу
Alf	14697	1998	Германия	*A. sativa* var. *mutica*	скороспелость, продуктивность, крупнозерность, устойчивость к септориозу и полеганию

Сведения о них показаны в таблице 3, из анализа данных которой следует, что базовым скрещиванием для восьми сортов (‘Дерби’, ‘Рысак’, ‘Яков’, ‘Буланый’, ‘Залп’, ‘Стиплер’, ‘Всадник’, ‘Кентер’) стала линия h178, полученная от скрещивания двух сортов – ‘Putnam 61’ (к-11393) и ‘Sörbo’ (к-11292) – из мировой коллекции овса ВИР.

По нашему мнению, сорта из США (‘Putnam 61’), Польши (‘Komes’) и Украины (‘Черкасский 1’) явились основными донорами устойчивости немчиновских сортов овса к пыльной головне. В 1970-е гг. гибридную линию h178 (Putnam 61 × Sörbo) активно включали в программу скрещиваний: с ее участием получены гибридные линии h406, h444, h550, h708, а они, в свою очередь, были использованы для получения гибридных линий h979, h996, h1018, h1127, h1169, h1345 и h1432. В качестве материнских форм в этот период активно использовали образцы WZ-437, К442/1 (индивидуальный отбор из ‘Panter’), к-437/2 (индивидуальный отбор из ‘Selma’) и ‘Sunbury’.

Таблица 3. Гибридные комбинации, на основе которых получены сорта овса в ФИЦ «Немчиновка» (1969–1989 гг.)

Table 3. Hybrid combinations that served as the base for oat cultivars developed by the Nemchinovka FRC (1969–1989)

Комбинация скрещивания	Год скрещивания	Линия	Участие в родословной сортов
(Putnam 61 × Sörbo)	1969	86h178	Рысак, Яков, Буланый, Залп, Стиплер
(Putnam 61 × Sörbo)	1969	139h178	Буланый, Всадник, Кентер
(Putnam 61 × Sörbo)	1969	141h178	Дерби, Рысак, Яков, Буланый, Залп, Стиплер
(Fraser × Ponta)	1972	24h263	Лев
(WZ-437 × ВИР12028)	1977	27h377	Дерби
(К-437/2* × ВИР12028)	1977	33/3h378	Дерби
(К442/1** × 86h178)	1977	3h406	Рысак, Яков, Буланый, Залп, Стиплер
(WZ-437 × 141h178)	1978	7h444	Рысак, Буланый, Залп
(WZ-437 × 141h178)	1978	73h444	Дерби
(WZ-437 × 141h178)	1978	81h444	Дерби, Яков, Буланый, Залп, Стиплер
(Черк. 1 × Endspurt)	1978	50h451	Залп
(Astor x 139h178)	1979	15h550	Буланый
(139/4h178 × Sunbury)	1981	10h708	Всадник, Кентер
(Hinoat × Горизонт)	1983	28h910	Конкур
(7h444 × 3h406)	1984	52h979	Рысак, Буланый
(50h451 × 7h444)	1984	5h996	Залп
(73h444 × 27h377)	1985	4h1018	Дерби
(3h406 × 81h444)	1985	36h1127	Яков, Залп, Стиплер
(81h444 × 15h550)	1985	47h1169	Буланый
(33/3h378 × 81h444)	1988	10h1345	Дерби
(CJ-8251 × 10h708)	1989	24h1432	Всадник, Кентер

* Индивидуальный отбор из сорта ‘Selma’
** Индивидуальный отбор из сорта ‘Panter’
* Individual selection from cv. ‘Selma’
** Individual selection from cv. ‘Panter’

Исключением из базовой схемы стали родословные сортов 'Лев' и 'Конкур'. Так, на рисунке 1 приведена родословная сорта овса 'Лев'.

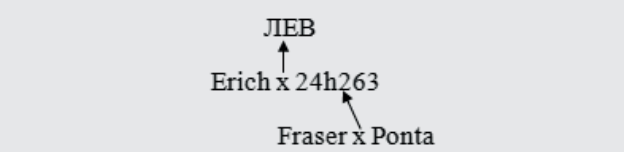


Рис. 1. Родословная сорта овса 'Лев'
Fig. 1. Pedigree of the oat cultivar 'Lev'

В его родословной не принимала участие гибридная линия h178. Сорт среднеспелый, сравнительно засухоустойчив, среднеустойчив к поражению пыльной головней и корончатой ржавчиной, устойчив к полеганию. Назван в честь выдающегося селекционера-овсяника Лызлова Евгения Васильевича (Лев).

Самую короткую родословную по времени создания имеет сорт 'Конкур' (рис. 2).

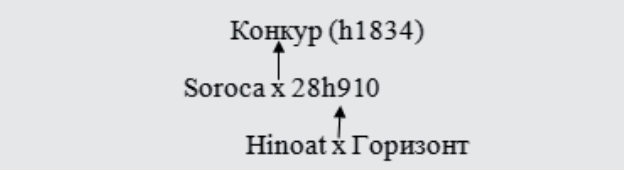


Рис. 2. Родословная сорта овса 'Конкур'
Fig. 2. Pedigree of the oat cultivar 'Konkur'

Гибридная линия h178 также не имеет отношения к родословной сорта 'Конкур'. Стартовая комбинация скрещивания была получена в 1983 г., а в 2008 г. сорт был внесен в Государственный реестр селекционных достижений, причем с самым широким набором регионов допуска (см. табл. 1). Сорт высокопродуктивный, устойчив к полеганию, осыпанию зерна, поражению пыльной головней. Включен в список сортов, наиболее ценных по технологическим качествам зерна.

Родословные всех последующих сортов из рассматриваемого списка ведут свое начало от гибридной линии h178 (Putnam 61 × Sörbo).

В 2009 г. в Госреестр селекционных достижений были внесены сорта овса 'Дерби' и 'Рысак'. На рисунке 3 представлена родословная сорта 'Дерби'.

В родословной сорта 'Дерби', как по материнской линии, так и по отцовской, задействованы гибридные линии h178 и h444. Значительна степень участия в скрещиваниях образца 'WZ-437', отличающегося продуктивностью и крупнозерностью. Сорт 'Дерби' отличается высокой засухоустойчивостью, урожайностью, устойчив к поражению пыльной головней, средневосприимчив к корончатой ржавчине. По качеству зерна отнесен к ценным сортам.

Сорт 'Рысак' (рис. 4) характеризуется высокой засухоустойчивостью, урожайностью, высокими показателями качества зерна (крупнозерность, высокое содержание белка), устойчивостью к поражению пыльной головней и умеренной восприимчивостью к корончатой ржавчине.

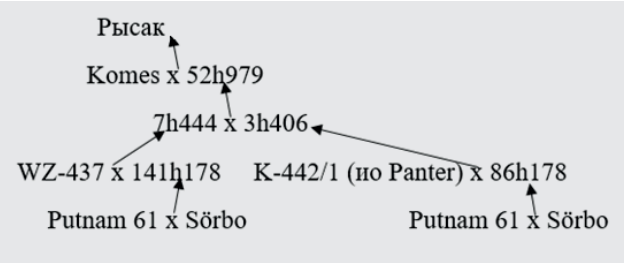


Рис. 4. Родословная сорта овса 'Рысак'
Fig. 4. Pedigree of the oat cultivar 'Rysak'

Сорт 'Яков' включен в Госреестр в 2010 г. по шести регионам допуска (см. табл. 1) и является в настоящее время наиболее востребованным в производстве. Его родословная приведена на рисунке 5.

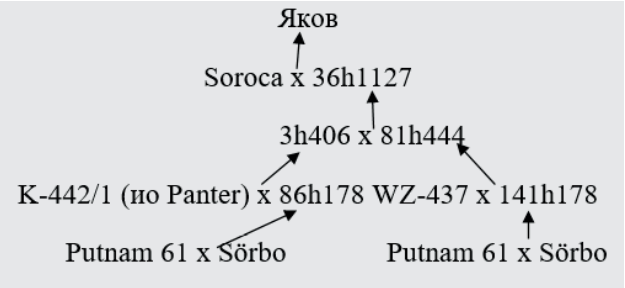


Рис. 5. Родословная сорта овса 'Яков'
Fig. 5. Pedigree of the oat cultivar 'Yakov'

В создании сорта 'Яков', кроме широко используемых нами родительских форм 'Putnam 61', 'Sörbo', 'WZ-437' и 'Panter', участвовал в качестве материнской формы образец 'Soroca' – продуктивный, устойчивый к гельминтоспориозу. Сам сорт 'Яков' является высокопродуктивным, засухоустойчивым, устойчивым к полеганию, высокоустойчивым к поражению пыльной головней, среднеустойчивым к поражению корончатой ржавчиной.

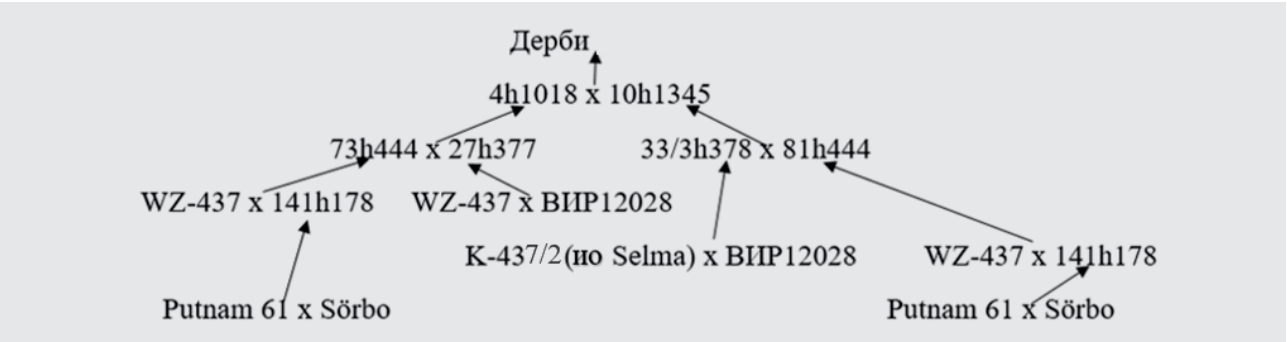


Рис. 3. Родословная сорта овса 'Дерби'
Fig. 3. Pedigree of the oat cultivar 'Derbi'

В 2012 г. в Госреестр селекционных достижений включен сорт овса 'Буланый' с допуском в трех регионах. Родословная сорта приведена на рисунке 6. Из рисунка следует, что в создании сорта принимали участие те же родительские формы, что и у сорта 'Яков', за исключением сорта 'Soroca', а также принимал участие сорт 'Astor'.

го. Если у сорта 'Яков' на последнем этапе скрещиваний в качестве материнской формы использован сорт 'Soroca', то у сорта 'Стиплер' – сорт 'Alf'.

Сорт 'Стиплер' характеризуется устойчивостью к полеганию, высоким качеством зерна, высокой устойчивостью к головневым заболеваниям. Зерно пригодно для производства продуктов питания.

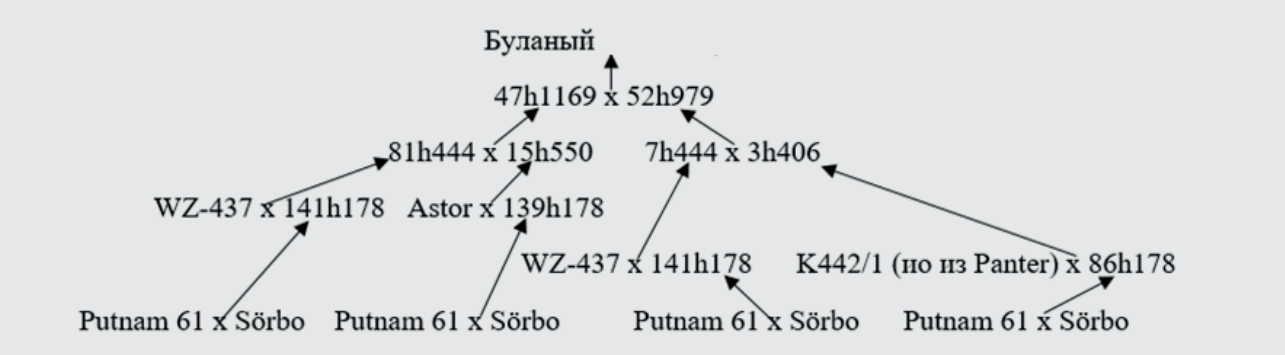


Рис. 6. **Родословная сорта 'Буланый'**

Fig. 6. **Pedigree of the oat cultivar 'Bulanyi**

Сорт овса 'Буланый' зернового назначения. Среднеранний, высоко устойчив к полеганию и поражению пыльной головней, относительно устойчив к поражению корончатой ржавчиной, засухоустойчив. Высокоурожайный, устойчив к осыпанию зерна и повышенной кислотности почвы.

С перерывом в три года после сорта 'Буланый' был включен в Госреестр сорт овса 'Залп' (2015 г.). Его родословная представлена на рисунке 7. Из рисунка видно, что в родословной сорта присутствуют те же исходные родительские формы, что и у сорта 'Буланый', а также сорта 'Черкасский 1' и 'Endspurt'.

Оставшиеся два сорта из рассматриваемого списка 'Всадник' и 'Кентер', внесены в Госреестр селекционных достижений в 2017 г.

Отцовская форма у обоих сортов общая – 24h1432 (рис. 9).

В качестве материнской формы у сорта 'Всадник' использован сорт 'Алтайский крупнозерный', а у сорта 'Кентер' – 'Аргамак'.

Сорт 'Всадник' имеет один регион допуска, 'Кентер' – три (см. табл. 1).

Сорт овса 'Всадник' среднеранний, высокопродуктивный, засухоустойчивый, устойчив к полеганию.

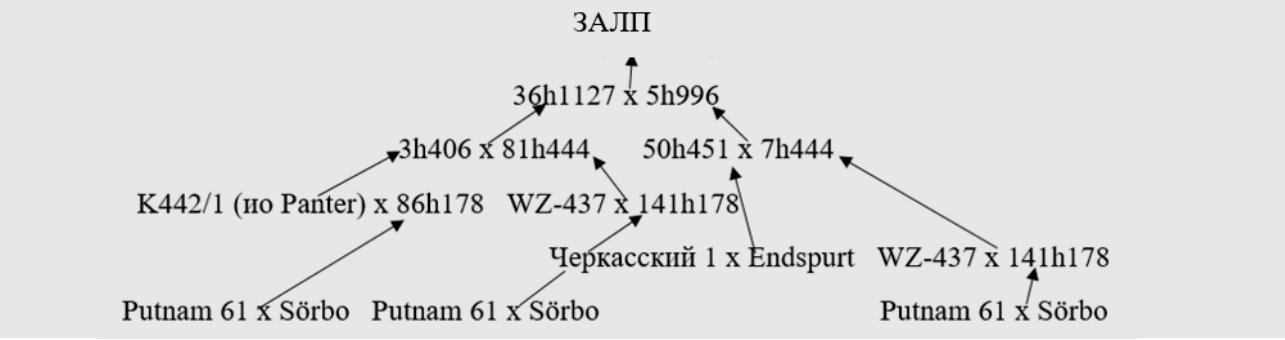


Рис. 7. **Родословная сорта овса 'Залп'**

Fig. 7. **Pedigree of the oat cultivar 'Zalp'**

Сорт овса 'Залп' многоцелевого использования. Помимо использования на фуражное зерно, рекомендован для совместных посевов с бобовыми компонентами, поскольку имеет прочную соломину. Высокоустойчив к поражению пыльной головней, среднеустойчив к поражению корончатой ржавчиной. Имеет стабильную урожайность по годам, рекомендован для возделывания в двух регионах (см. табл. 1).

Результатом совместной работы селекционеров ФИЦ «Немчиновка» и Ульяновского НИИСХ в последние годы стало создание сортов 'Стиплер', 'Всадник' и 'Кентер'.

Сорт 'Стиплер' включен в Госреестр в 2016 г. Его родословная показана на рисунке 8.

У сорта 'Стиплер' родословная повторяет родословную сорта 'Яков' на всех этапах, кроме заключительно-

Имеет хорошие показатели качества зерна, умеренно устойчив к поражению пыльной головней и корончатой ржавчиной, умеренно восприимчив к красно-бурой пятнистости. Сорт 'Всадник' – первый сорт овса, официально зарегистрированный как относительно устойчивый к поражению фузариозом зерна.

Сорт овса 'Кентер' отличается высокой продуктивностью, качеством зерна, средней устойчивостью к поражению пыльной головней.

В заключение необходимо отметить следующее. На современном этапе повысился интерес к голозерному овсу, являющемуся весьма привлекательным объектом для селекции. В ФИЦ «Немчиновка» работы по селекции голозерного овса начаты в 2004 г., а первым итогом стала передача на Государственное сортоиспы-

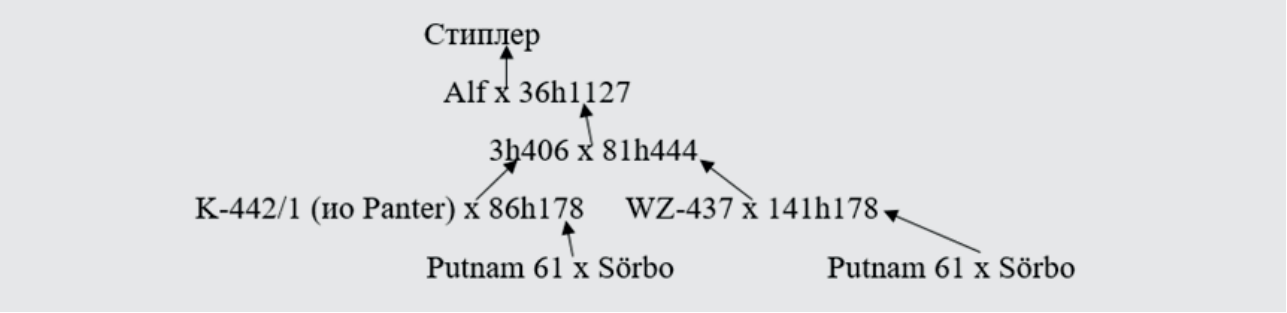


Рис. 8. **Родословная сорта овса ‘Стиплер’**
Fig. 8. **Pedigree of the oat cultivar ‘Stipler’**

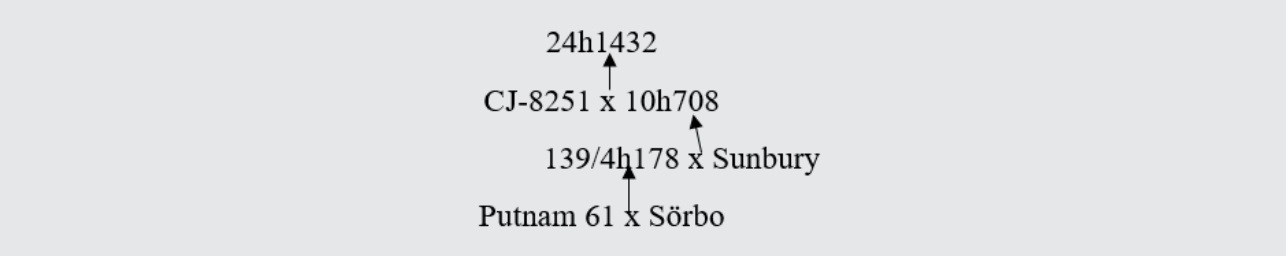


Рис. 9. **Схема создания отцовской формы сортов овса ‘Всадник’ и ‘Кентер’**
Fig. 9. **The scheme of the development of a paternal form for the oat cultivars ‘Vsadnik’ and ‘Kenter’**

тание в 2018 г. сорта голозерного овса ‘Немчиновский 61’. Родословная данного сорта по отцовской линии полностью вписывается в рассмотренные выше схемы родословных наших сортов (рис. 10).

рассмотренных сортов (‘Дерби’, ‘Рысак’, ‘Яков’, ‘Буланый’, ‘Залп’, ‘Стиплер’, ‘Всадник’, ‘Кентер’). Линии из этой гибридной комбинации в конце 70-х и начале 80-х годов прошлого столетия вовлекались в последующие скрещи-

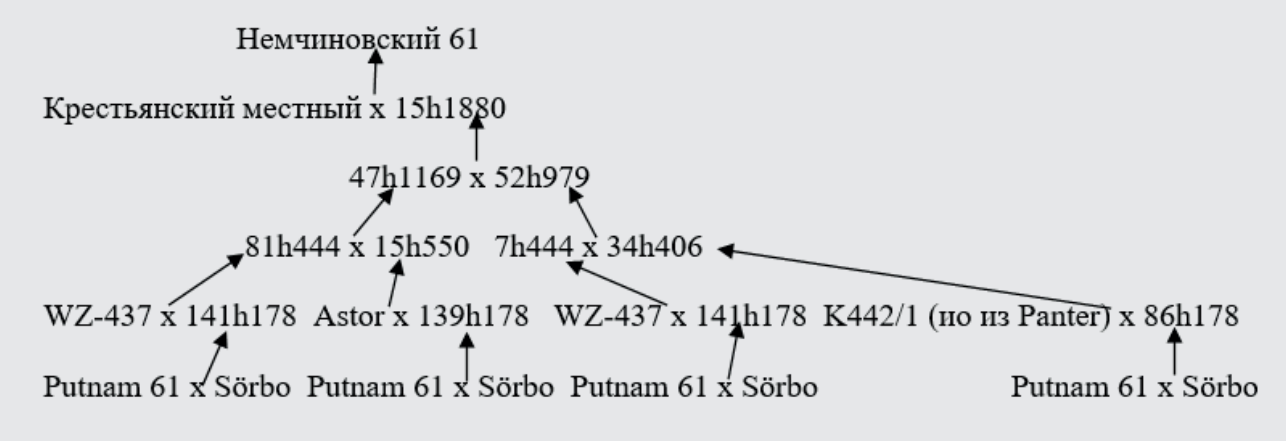


Рис. 10. **Родословная сорта голозерного овса ‘Немчиновский 61’**
Fig. 10. **Pedigree of the naked oat cultivar ‘Nemchinovsky 61’**

В качестве материнской формы использован сорт голозерного овса ‘Крестьянский местный’, а отцовская форма – это будущий сорт ‘Буланый’.

Сорт ‘Немчиновский 61’ скороспелый, устойчивый к полеганию, несмотря на относительную высокорослость. Устойчив к осыпанию зерна и ломкости метелки, имеет высокие показатели натуры зерна, превосходит сорта пленчатого овса по качеству зерна, устойчив к поражению пыльной головней, высоко отзывчив на степень интенсификации при возделывании.

Гибридная линия h178 (Putnam 61 × Sörbo), впервые полученная в 1969 году, является отправной точкой в селекции ярового овса в Немчиновке для восьми из десяти

вания в качестве материнской и отцовской форм. Только пять гибридных линий – h263, h377, h378, h451 и h910 – были получены без участия гибридной линии h178.

Наибольший вклад в создание сортов овса немчиновской селекции за период 2007–2017 гг. внесли образцы коллекции ВИР ‘Putnam 61’, ‘Sörbo’, ‘WZ-437’ и ‘Panter’. Самый короткий период создания имели сорта ‘Конкур’ (25 лет) и ‘Лев’ (35 лет). История создания сортов ‘Рысак’, ‘Яков’, ‘Буланый’, ‘Залп’, ‘Стиплер’, ‘Всадник’ и ‘Кентер’ насчитывает 40–48 лет (Breeding…, 2008; Varietal…, 2010).

Проблеме исходного материала в селекции зерновых культур большое внимание уделял выдающийся немчиновский селекционер Э. Д. Неттевич (Nettevich,

2008). Он отмечал, что в настоящее время в селекции четко просматриваются два процесса. С одной стороны, идет расширение генетического разнообразия путем вовлечения в гибридизацию отдаленных эколого-географических форм, а с другой – сужение генофонда в результате использования в качестве исходных форм во многих странах узкого круга сортов. Приводя данные за 1970–1981 гг., автор показывает, что существенная доля сортов озимой пшеницы, ярового ячменя, озимой ржи создана несколькими базовыми сортами или сортами, созданными с их участием. Так, по озимой пшенице в 93-х районированных за этот период сортах, то есть ¾ сортов, «течет кровь» всего трех сортов – 'Безостая 1', 'Мироновская 808' и 'Саратовская 29'. Также Э. Д. Неттевич подчеркивает, что роль коллекции ВИР необходимо оценивать не только по количеству имеющихся образцов, а также и по качеству, то есть наличию селекционно значимых доноров.

Заключение

Приведенный нами анализ родословных ряда сортов овса полностью подтверждает выводы Э. Д. Неттевича (Nettevich, 2008) насчет ограниченного количества базовых сортов при создании новых сортов культуры и то, что идет расширение генетического разнообразия за счет включения в скрещивания новых отдаленных эколого-географических форм.

Таким образом, эколого-географический принцип подбора пар при скрещиваниях является ведущим и в нашей работе; при этом селекционер должен вкладывать в понятие географическая отдаленность смысл «генетическая дивергентность».

References/Литература

Boroevich S. Principles and methods of plant breeding (Printsipy i metody selektsii rasteniy). Moscow: Kolos; 1984. [in Russian] (Бороевич С. Принципы и методы селекции растений. Москва: Колос; 1984).

Breeding, seed production and cultivation technology of grain fodder crops. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Selektsiya, semenovodstvo i tekhnologiya vozdelyvaniya zernofurazhnykh kultur. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii). Ulyanovsk; 2008. [in Russian] (Селекция, семеноводство и технология возделывания зернофуражных культур. Материалы Международной научно-практической конференции. Ульяновск; 2008).

Briggs F., Knowles P. Introduction to Plant Breeding. Moscow: Kolos; 1972. [in Russian] (Бриггс Ф., Ноулз П. Научные основы селекции растений. Москва: Колос; 1972).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 102. Oats. (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 102. Oves). Leningrad: VIR; 1972. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 102. Овес. Ленинград: ВИР; 1972).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 389. Donors and sources of the economically most important traits in cultivated plants for solving urgent plant breeding problems (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 102. Donory i istochniki vazhneishikh khozyaystvenno tsennykh priznakov kulturnykh rasteniy dlya resheniya aktualnykh problem selektsii). Leningrad: VIR; 1984. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 389. Доноры и источники важнейших хозяйственно ценных признаков культурных растений для решения актуальных проблем селекции. Ленинград: ВИР; 1984).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 492. Oats. Source material for the breeding of intensive-type cultivars in the RSFSR Non-Chernozem Zone ((Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 492. Oves. Iskhodnyi material dlya selektsii sortov intensivnogo tipa v Nechernozemnoy zone RSFSR). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 492. Овес. Исходный материал для селекции сортов интенсивного типа в Нечерноземной зоне РСФСР. Ленинград: ВИР; 1989).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 558. Oats. Characterization of accessions according to their photoperiodic response (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Oves. Kharakteristika obraztsov po fotoperiodicheskoy reaktsii). Leningrad: VIR; 1990. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 558. Овес. Характеристика образцов по фотопериодической реакции. Ленинград: ВИР; 1990).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 686. Oats. Accessions with identified genes controlling biological, morphological and economically valuable trails (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 686. Oves. Obraztsy s identifitsirovannymi genami, kontroliruyushchimi biologicheskiye, morfologicheskiye i khozyaystvenno tsennye priznaki). St. Petersburg: VIR; 1997. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 686. Овес. Образцы с идентифицированными генами, контролирующими биологические, морфологические и хозяйственно ценные признаки. Санкт-Петербург: ВИР; 1997).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 709. Express information (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 709. Ekspress informatsiya). St. Petersburg: VIR; 1999. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 709. Экспресс информация. Санкт-Петербург: ВИР; 1999).

Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 808. Oats. Characterization of resistance of oat accessions to *Fusarium* (Katalog mirovoy kollektsii VIR. Vypusk 808. Oves. Kharakteristika ustoychivosti obraztsov ovsa k fuzariozu). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 808. Овес. Характеристика устойчивости образцов овса к фузариозу. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

Goncharenko A.A. Actual issues of winter rye breeding (Aktualnye voprosy selektsii ozimoy rzhi). Moscow: Kolos; 2014. [in Russian] (Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. Москва: Колос; 2014).

Loskutov I.G. The genetic resources of oats and barley are a source of effective breeding in Russia (Geneticheskiye resursy ovsa i yachmenya – istochnik resultativnoy selektsii v Rossii). In: *Proceedings of the II International Vavilov Conference, November 2007*. St. Petersburg: VIR: 2009. p.200-205. [in Russian] (Лоскутов И.Г. Генетические ресурсы овса и ячменя – источник результативной селекции в России. В кн.: *Доклады II международной Вавиловской конференции, ноябрь 2007*. Санкт-Петербург: ВИР; 2009. С.200-205).

Lukyanenko P.P. Selected works. Breeding and seed production of winter wheat (Izbrannye trudy. Selektsiya i semenovodstvo ozimoy pshenitsy). Moscow: Kolos; 1973. [in Russian] (Лукьяненко П.П. Избранные труды. Селекция и семеноводство озимой пшеницы. Москва: Колос; 1973).

Nettevich E.D. Selected Works (Izbrannye trudy). Moscow: Nemchinovka; 2008. [in Russian] (Неттевич Э.Д. Избранные труды. Москва: Немчиновка; 2008).

Nettevich E.D., Lyzlov E.V., Sergeev A.V. Breeding of barley

and oats in the central regions of the Non-Chernozem Zone (Selektsiya yachmenya i ovsa v tsentralnykh rayonakh Nechernozemnoy zony). In: *Breeding of barley and oats (Selektsiya yachmenya i ovsa).* Moscow: Kolos; 1971. p.36-48. [in Russian] (Неттевич Э.Д., Лызлов Е.В., Сергеев А.В. Селекция ячменя и овса в центральных районах Нечерноземной зоны. В кн: *Селекция ячменя и овса*. Москва: Колос; 1971. С.36-48).

Nettevich E.D., Sergeev A.V., Lyzlov E.V. Grain fodder crops (Zernovye furazhnye kultury). Moscow: Rosselkhozizdat; 1980. [in Russian] (Неттевич Э.Д., Сергеев А.В., Лызлов Е.В. Зерновые фуражные культуры. Москва: Россельхозиздат; 1980).

Shevtsov V.M., Serkin N.V. N.I. Vavilov's theory in the breeding of barley on the Kuban (Ucheniye N. I. Vavilova v selektsii yachmenya na Kubani). In: *Genetic resources of cultivated plants in the 21st century* (Geneticheskiye resursy kulturnykh rasteniy v XXI veke). St. Petersburg: VIR; 2009. p.21-26. [in Russian] (Шевцов В.М., Серкин Н.В. Учение Н. И. Вавилова в селекции ячменя на Кубани. В кн.: *Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке*. Санкт-Петербург: ВИР; 2009. С.21-26).

State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation (Gosudarstvennyi reyestr selektsionnykh dostizheniy Rossiyskoy Federatsii). [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений РФ). URL: https://reestr.gossort.com/ [дата обращения 20.09.2019].

Varietal resources of grain crops in the Non-Chernozem Zone of Russia. Catalogue (Sortovye resursy zernofurazhnykh kultur Nechernozemnoy zony Rossii. Katalog). Ekaterinburg; 2010. [in Russian] (Сортовые ресурсы зернофуражных культур Нечерноземной зоны России. Каталог. Екатеринбург; 2010).

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

Кабашов А.Д., Лоскутов И.Г., Власенко Н.М., Лейбович Я.Г., Маркова А.С., Филоненко З.В., Разумовская Л.Г. Сорта овса немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):110-118. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118

Kabashov A.D., Loskutov I.G., Vlasenko N.M., Leibovich Ya.G., Markova A.S., Filonenko Z.V., Razumovskaya L.G. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review). Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):110-118. DOI:10.30901/2227-8834-2020-1-110-118

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/10.30901/2227-8834-2020-1-110-118

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
Kabashov A.D. https://orcid.org/0000-0002-7450-3845
Loskutov I.G. https://orcid.org/0000-0002-9250-7225
Vlasenko N.M. https://orcid.org/0000-0002-5832-7562
Leibovich Ya.G. https://orcid.org/0000-0001-8461-5202
Markova A.S. https://orcid.org/0000-0002-2528-1422
Filonenko Z.V. https://orcid.org/0000-0002-6777-7055
Razumovskaya L.G. https://orcid.org/0000-0001-6060-9633

Биологические особенности и возделывание арахиса (обзор)

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-119-127
CC BY
УДК 635.659:633.52
Поступление/Received: 30.12.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

Biological peculiarities and cultivation of groundnut (a review)

Н. В. КИШЛЯН[1], В. Д. БЕМОВА[1], Т. В. МАТВЕЕВА[2], В. А. ГАВРИЛОВА[1]

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

[2] Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9
radishlet@gmail.com

N. V. KISHLYAN[1], V. D. BEMOVA[1], T. V. MATVEEVA[2], V. A. GAVRILOVA[1]

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

[2] St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia
radishlet@gmail.com

Арахис – важная сельскохозяйственная культура сем. Fabaceae Lindl., или Leguminosae L. (Бобовые). Родиной арахиса считают Южную Америку; сейчас эту культуру возделывают в Америке, Африке, Австралии, Европе и Азии. Современная система рода *Arachis* L. включает 79 диких видов и один культурный вид: арахис обыкновенный – *A. hypogaea* L. Диплоидные виды с числом хромосом 2n = 20 имеют геномы A, B или D, тетраплоиды – A и B. Геномы A и B секвенированы. Биологическая особенность всех видов арахиса – наличие хазмогамных и клейстогамных цветков и развитие бобов только в земле (геокарпия). Семена арахиса используют как непосредственно в пищу, так и для производства высококачественного масла, кондитерских изделий, в хлебопекарной, консервной, масложировой и других отраслях пищевой промышленности. Наряду с высокими требованиями к улучшению качества масла и пищевых продуктов, большое внимание уделяется их безопасности: устойчивости к загрязнению афлатоксинами и снижению аллергенности. Описаны сортотипы арахиса, различающиеся по габитусу растения, форме и окраске бобов и семян. Продолжительность вегетационного периода в странах Африки, Латинской Америки и Азии – 160–200 дней, для юга РФ актуален отбор раннеспелых форм. Селекционерами ВНИИ масличных культур были созданы сорта арахиса для Краснодарского края с урожайностью 2,7–3,3 т/га и длиной вегетационного периода 115–120 дней. В настоящее время в РФ нет промышленных посевов арахиса и селекция не ведется. В мире наряду с традиционными методами селекции (индивидуальный отбор и внутри- и межвидовые скрещивания) в настоящее время арахис широко вовлечен в геномные исследования, получены сорта высокоустойчивые к вредителям и болезням, засухе. Свыше 15 тыс. образцов арахиса сосредоточено в генных банках мира, в том числе 1823 образца – в коллекции ВИР. Использование мировых генетических ресурсов арахиса и современных методов исследования будет способствовать возделыванию культуры в России.

Ключевые слова: генетические ресурсы, дикие виды, сортотипы, зоны возделывания, направления селекции, урожайность, раннеспелость, устойчивость к болезням и вредителям.

Peanut is one of the most important crops in the Fabaceae Lindl. (Leguminosae L.) family. South America is considered to be the homeland of peanut, but now this crop is cultivated in America, Africa, Australia, Europe and Asia. The modern phylogenetic system of the genus *Arachis* L. includes 79 wild species and one cultivated species of common peanut (*A. hypogaea* L.). Diploid species contain 2n = 20 chromosomes of the A, B or D genome, tetraploids have A and B genomes. The A and B genomes are sequenced. Special biological features of all peanut varieties are the presence of chasmogamous and cleistogamous flowers and the development of pods only underground (geocarpy). Along with high requirements for improving the quality of oil and food products, much attention is paid to their safety: resistance to aflatoxin contamination and mitigation of allergenicity. Peanut cultivars vary in plant habit, shape and color of pods and seeds. Their growing season in Africa, Latin America and Asia is from 160 to 200 days, so early-ripening forms need to be selected for the south of the Russian Federation. Breeders from the Pustovoit Institute of Oil Crops (VNIIMK) have developed peanut cultivars with a yield of 2.0–3.3 t/ha and growing season duration of 115–120 days, adaptable to the environments of Krasnodar Territory. At present, there is no large-scale peanut production in Russia, nor any breeding efforts are underway. As for the world, along with conventional breeding practices (individual selection, intra- and interspecies crosses, etc.), peanut is widely involved in genomic studies. A number of cultivars highly resistant to pests, diseases and drought have been released. Over 15,000 peanut accessions are preserved in the world's gene banks, including 1823 accessions in the collection of the Vavilov Institute (VIR). Utilization of the worldwide genetic resources of peanut and use of modern research technologies will contribute to the revival of peanut cultivation in Russia.

Key words: genetic resources, wild species, cultivar types, cultivation zones, breeding trends, yield, earliness, disease and pest resistance.

Введение

Арахис – один из важных источников мирового производства растительного белка и масла, предназначенных главным образом для продуктов питания. Значительную часть семян арахиса используют непосредственно в пищу без переработки. Масло из семян арахиса полувысыхающее, составляет 44–56% от массы сухих семян. Больше всего арахисовое масло потребляется масложировой, консервной и кондитерской промышленностью. Худшие сорта масла используют для мыловарения. По содержанию белка (22–30%) арахис уступает только сое. Из арахисового жмыха, остающегося после отжима масла, делают халву. В последние годы в некоторых странах из арахисового жмыха и муки стали выделять белки в чистом виде, получать так называемые белковые изоляты. Их используют для производства искусственного молока и мороженого, а также как продукты питания в развивающихся странах. Жмых арахиса или размолотые семена добавляют в разные сорта шоколада, конфеты, торты. Жмых арахиса является концентрированным кормом для домашнего скота. Благодаря азотофиксирующим клубенькам на корнях арахис обогащает почву усвояемым азотом и является ценным предшественником для многих культур.

В настоящее время в России нет промышленных посевов арахиса. Россия входит в число крупнейших стран – покупателей арахиса (Tuz et al., 2018). В то же время ряд зон юга РФ соответствует требованиям к возделыванию арахиса (Северный Кавказ, Южное Поволжье) (Vakhrusheva, 1998). Существует современный опыт выращивания арахиса в фермерских хозяйствах (Tuz et al., 2018) и, следовательно, возможность промышленного его возделывания (Северный Кавказ, Южное Поволжье).

Систематика, морфология и биологические особенности арахиса

Систематика рода *Arachis* L. (семейство Fabaceae Lindl., или Leguminosae L.) претерпевала изменения. К середине XX века было описано 30 видов арахиса (по Krapovickas, 1969), обитающих в Южной Америке (Zhukovsky, 1971). Ранние классификации основывались на особенностях роста, ветвления и положения ветвей. Позднее на основе морфологических, цитологических характеристик и данных гибридизации в роде *Arachis* описали 69 видов (Krapovickas, Gregory, 1994; Jung et al., 2003). В настоящее время систематики выделяют в пределах рода *Arachis* 79 диких видов и один культурный вид: арахис обыкновенный – *A. hypogaea* L. (Valls, Simpson, 2005; Bertioli et al., 2011). Дикие виды представлены как однолетними, так и многолетними формами. *A. hypogaea* является аллотетраплоидной формой (AABB, 2n = 4x = 40), состоящей из геномов A и B (Husted, 1933; Strebbins, 1957), с вероятным происхождением путем амфидиплоидизации гибрида AB (Singh, 1988; Singh, Moss, 1984). В настоящее время геном *A. hypogaea* и его родственные диплоидные геномы диких видов *A. duranensis* Krapov. et W.C. Gregory и *A. ipaensis* Krapov. et W.C. Gregory секвенированы (Chen et al., 2019). Размер генома A у *A. duranensis* (образец V14167), по данным одних авторов, составляет 1.1 Gb (Bertioli et al., 2011), по данным других (Chen et al., 2016) – 1,07 Gb (образец PI475845) . Размер генома B *A. ipaensis* (образец K30076) – 1.38 Gb (Bertioli et al., 2011).

Выявленное сходство геномов A (*A. duranensis*) и B (*A. ipaensis*) с подгеномами аллотетраплоида *A. hypogaea* позволило заключить, что геномы именно этих диплоидных видов лежат в основе аллотетраплоидной формы. Все дикие виды диплоидные, за исключением *A. monticola* Krapov. et Rigoni, который, как и культивируемый арахис, является аллотетраплоидом. По данным цитологических исследований установлено три генома (A, B и D). Большинство диплоидных видов арахиса имеют геномом A (Stalker, 1991). Дикие диплоидные виды *A. cardenasii* Krapov. et W.C. Gregory (Singh, Moss, 1982; Smartt et al., 1978), *A. duranensis* (Kochert et al., 1991; Paik-Ro et al., 1992; Singh, Moss, 1984), *A. correntina* (Burkart) Krapov. et W.C. Gregory (Murty, Jahnavi, 1986) и *A. villosa* Benth. (Raina, Mukai, 2011; Raina et al., 2001) имеют геном A. Обладателями генома B являются виды *A. batizocoi* Krapov. et W.C. Gregory и *A. ipaensis*; геном D отмечен у одного диплоидного вида *A. glandulifera* Stalker (Stalker, 1991). А. Краповицкас (Krapovickas, 1969) установил, что *A. hypogaea* делится на два подвида: subsp. *hypogaea* и subsp. *fastigiata* (Waldron) Krapov. et W.C. Gregory. Большинство дикорастущих видов – многолетники (Zhukovsky, 1971).

Арахис обыкновенный, или земляной орех – однолетнее травянистое растение. По габитусу выделяют следующие формы: кустовая (стебель прямостоячий), полукустовая и стелющаяся по земле. Листья сложные, парноперистые, черешковые. Цветки мотылькового типа лимонно-желтые, реже бело-желтые или оранжевые, сидячие или на коротких цветоножках. (Luzina, 1941). Плоды арахиса – бобы различной величины и формы. Оболочка боба соломенно-желтая, рыхлая, ломкая, различной толщины, с внутренней стороны гладкая, снаружи сетчатая, с более или менее выделяющимися продольными жилками. Семян в бобе 1–6, но чаще 2–3. Семена округлые или удлиненно-овальные. Оболочка семян светло-розовая, светло- и темно-красная, черно-фиолетовая, редко пестрая. Бобы образуются под землей.

Биология цветения и характер плодообразования у арахиса своеобразны, что сильно отличает его от других культурных растений. Арахис – геокарпическое растение, уникальной особенностью развития является то, что его плоды (бобы) развиваются под землей (Smith, 1950). Адаптация арахиса к жаре и засухе путем геокарпии является ключом к успеху его возделывания во многих регионах мира (Barker, 2005). Арахис, кроме хазмогамных цветков над поверхностью почвы, образует клейстогамные, которые развиваются на подземных частях боковых стеблей. Однако строение цветков не отличается друг от друга. После оплодотворения венчик и чашечка у хазмогамных цветков засыхают, а у клейстогамных основание завязи начинает расти сначала по направлению вверх, а затем, в силу геотропизма, вниз за счет деления клеток, расположенных непосредственно под завязью. Образуется гинофор, роль которого сводится к перенесению завязи в почву. Гинофор проникает в почву на глубину около 8–9 см и прекращает свой рост. Таким образом, развитие плода происходит только в почве, и если гинофор по какой-то причине не проникает в почву, например из-за ее плотности, то он засыхает и плод не развивается. Необходимым условием для завязывания и развития плодов является влага. Если гинофор лишен влаги, то он вянет

как на свету, так и в темноте. Гинофор погибает, если находится в сильно увлажненной среде или все время на дневном свету. Чем дольше гинофор находится на свету, тем медленнее происходит его прирост (Husted, 1933). Общее число цветков на растении сильно варьирует, оно различно у разных сортов и изменяется от времени цветения и условий культивирования. Стелющиеся формы цветут более обильно, чем кустовые. Количество цветков, способных образовывать гинофоры, у кустовых форм составляет около 70%, а у стелющихся – 75% (Husted, 1933).

Свет является наиболее важным фактором, влияющим на развитие зародышей и бобов арахиса (Zharare et al., 1998). Было показано, что красный и белый свет подавляют рост завязи арахиса, в то время как «темнота» способствует ее росту (Thompson et al., 1985). В процессе развития эмбриона арахиса участвуют фитохромы. Уровни белка фитохрома значительно изменяются до и после проникновения завязи в почву, что было установлено с использованием технологии иммуноцитохимии (Thompson et al., 1992).

Гены семейства фитохромов идентифицированы у двух диких видов арахиса: четыре у *A. duranensis* и четыре у *A. ipaensis* (Zhang et al., 2018). Авторами сделано заключение, что опосредованная фитохромами трансдукция светового сигнала может играть ключевую роль в развитии гинофора арахиса.

Арахис – теплолюбивое растение, семена его начинают прорастать при температуре 14–15°C. Всходы погибают при минус 1°C, взрослое растение – при минус 2°C, а при минус 3°C повреждаются свежевыкопанные бобы. Период вегетации арахиса – 130–150 дней. Для арахиса благоприятна солнечная, жаркая погода. Для развития арахиса требуется сумма эффективных температур 2600–3500°C (Vakhrusheva, 1998). Арахис может расти на разных почвах. Лучшие для него – структурированные высокоплодородные почвы. Легкие почвы для арахиса считаются более пригодными. Арахис довольно хорошо переносит сравнительно близкие грунтовые (незасоленные) воды с залеганием не более 80–100 см от поверхности почвы. Почвы слишком тяжелые, засоленные, сильно истощенные под арахис непригодны (Vakhrusheva, 1998). Арахис нуждается в оптимальных условиях влажности почвы (32,5%) в период интенсивного цветения и развития бобов. В последнем периоде своего развития арахис нуждается в минимальных условиях почвенного увлажнения. Избыток влаги в этот период ведет к снижению урожая вследствие загнивания бобов и снижению содержания в них жира. Однако при развитии арахиса в оптимальных условиях почвенной влажности в период после всходов он не приобретает стойкости к неблагоприятным условиям почвенного увлажнения в последующие месяцы, и такие растения страдают при наступлении засухи больше, чем если бы они выращивались все время при минимальных условиях влажности почвы.

При промышленном возделывании арахиса используется только подвид обыкновенный, подразделяемый на три большие группы: кустовую, полукустовую и стелющуюся (Luzina, 1954) Для возможности механизированной уборки используют кустовую группу, к которой относятся сортотипы: Испанский, Улучшенный испанский, Валенсия, Яванский, Порто-аллегро, Теннесси белый и Теннесси красный (Luzina, 1954). Сортотипы различаются в основном по типу куста, крупности и окраске бобов и семян.

Недавно стало известно, что арахис относится к природно-трансгенным растениям (Matveeva, Otten, 2019). Природно-трансгенными называют такие растения, в геномах которых обнаружены последовательности, гомологичные Т-ДНК *Agrobacterium rhizogenes* (называемые клеточной Т-ДНК или клТ-ДНК). Они описаны в пределах родов *Nicotiana* L., *Linaria* Mill., *Ipomoea* L. Их предковые формы были трансформированы и смогли дать начало новым видам, в геномах которых стабильно передавалась Т-ДНК, а растения, ее содержащие, называют природно-трансгенными. В ходе эволюции подобные акты трансформации происходили не раз; вероятно, они могут играть важную эволюционную роль, представляя собой последствия горизонтального переноса генов от бактерий к эукариотам (Matveeva, Sokornova, 2017).

Использование

Для рациона питания жителей многих стран арахис – источник высококачественных белка и жиров. Обычно в арахисовых семенах содержание масла колеблется от 44 до 56%, в среднем 50%, и 22–30% белка (Settaluri et al., 2012). Масло арахиса – одно из лучших растительных пищевых масел. Его используют в качестве салатного, а также в консервной и масложировой промышленности, в фармакологии и на технические цели. В среднем из одной тонны семян получают 226–317 кг масла. Свежее масло, полученное холодным прессованием, желтоватое, прозрачное, сладковатое на вкус, без запаха. В его состав входят ненасыщенные кислоты: олеиновая (39–70% от общей суммы жирных кислот), линолевая (15–38%), линоленовая (0,05%), эйкозеновая (1,1–4,0%), эруковая (0,5%), и насыщенные кислоты: пальмитиновая (6–18%), стеариновая (2–7%), арахиновая (0,8–7,3%), миристиновая (0,3–0,6%), бегеновая (1,5–4,0%) и лигноцериновая (0,5–3,0%) (Ermakov, Yarosh, 1976; Ermakov et al., 1982; Wang et al., 2015). Таким образом, арахисовое масло содержит около 80% ненасыщенных и 20% насыщенных жирных кислот.

Повышенное содержание олеиновой кислоты препятствует окислению масла, масло арахиса с максимумом линолевой кислоты уязвимо к окислению, что приводит к неприятному запаху, вкусу и короткому сроку годности при хранении масла и других продуктов арахиса. В целом потребление человеком арахисового масла с высокой долей олеиновой кислоты является предпочтительным, так как это снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний за счет снижения уровня липопротеинов низкой плотности в крови (Jones et al., 2014). Показано, что обработанное арахисовое масло (экстрагированное кислотой, подвергнутое тепловой обработке) не содержит белков и может безопасно употребляться людьми с аллергией на арахис. Однако арахисовое масло холодного отжима, обработанное при более низких температурах, может содержать следы арахисового белка, вызывать аллергические реакции у пациентов, чувствительных к арахису (Du Plessis, Steinman, 2004). Белок арахиса легко усваивается. Основная его масса состоит из глобулинов: арахина (до 25%) и конарахина (8%). Биологическая ценность белков арахиса связана с содержанием в них незаменимых аминокислот, которые необходимы для жизнедеятельности человека, но не могут быть синтезированы самим организмом. Высокое содержание основных жизненно необходимых аминокислот приближает белки арахиса

к животным белкам: аргинин – 9,9%, гистидин – 2,1%, лизин – 2,2%, триптофан – 1,0 %, цистин – 1,6%. Белки арахиса отличаются высоким содержанием водорастворимой фракции, что указывает на их высокую перевариваемость. Арахис относят к функциональным продуктам питания. В семенах содержится значительное количество витамина B_1 и небольшие количества витаминов PP и E, медь, магний, флавоноиды и др. (Ermakov, Yarosh, 1976; Kris-Etherton et al., 1999). Арахисовое масло обладает высоким содержанием антиоксидантов и фитостеролов (Zaaboul et al., 2018). Жмых арахиса как побочный продукт масложировой промышленности содержит до 48% белка и 8% жира. Перемолотый жмых арахиса, или арахисовая мука, применяется в качестве примеси к пшеничной, кукурузной и другой муке в приготовлении бисквитов и кексов. Лучшие сорта жмыхов, а также целые и перемолотые семена арахиса находят чрезвычайно широкое использование в кондитерской промышленности (Vakhrusheva, Pereverzev, 1993). Известны сорта арахиса кондитерского направления использования – крупноплодные с улучшенными вкусовыми качествами. Это 'Fleur 11', 'Chalimbana', 'CG7', 'ICGV 97041', 'ICGV 97047', 'ICGV 97049', 'ICGV 97065', 'ICGV 11310', 'ICGV 11326', 'ICGV 11327' и др. (Monyo, Varshney, 2016). Арахис – ценный корм для животных. Использование жмыхов как концентрированного корма повышает удои и качество молока коров, ускоряет отложение жира у свиней. Высокое содержание лецитина в жмыхе способствует наилучшему росту и развитию животных, особенно молодняка. Вегетативная масса из стеблей и листьев арахиса в кормовом отношении не уступает таковой люцерны и клевера. Способность арахиса фиксировать атмосферный азот благотворно влияет на будущий урожай и позволяет использовать эту культуру как предшественник для оздоровления почвы (Toomsan et al., 1995).

Возделывание

Родина арахиса – Южная Америка. Первичный генцентр арахиса – Аргентина и Боливия (Zhukovsky, 1971). Из Америки он попал в Европу и Китай, затем его начали возделывать в тропиках Юго-Восточной Азии. По другим данным, из Южной Америки арахис был завезен в Индию и Японию, на Филиппинские острова и на Мадагаскар. В Китай арахис привезли португальцы, которые в 1560 г. основали в Кантоне свою колонию. В Западной Африке арахис появился в XVI веке. Полагают, что впервые бобы арахиса в Гвинею попали из Бразилии. Сенегал, Нигерия, Конго считаются вторичными центрами. Местные жители научились извлекать пищевое масло из семян арахиса, и площади посевов стали быстро увеличиваться. Из Индии и Китая арахис распространился в Испанию, Францию, Италию, где получил название «китайский орешек» (Bakhareva, 1978).

В России первые попытки возделывания арахиса относятся к 1825 г., когда он был высеян на территории Одесского ботанического сада (Luzina, 1954). В условиях Нижнего Поволжья пробные посевы были проведены в 20-х годах прошлого столетия. В Краснодарском крае первые посевы осуществлены в 1894 г. Далее арахис широко распространился в Закавказье и Среднюю Азию. Позднее (1926–1930 гг.) его с успехом возделывали в засушливых и полузасушливых районах юга Украины и России (на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье) (Ivanenko, 1989; Obydalo, Ogarkov, 2002).

С 1926 г. на селекционной станции «Круглик» в Краснодарском крае начали изучать биологию цветения и плодообразования арахиса, что позволило выработать приемы гибридизации. На основе селекционной станции был создан Всесоюзный (затем Всероссийский) институт масличных культур (ВНИИМК), и уже в 1934 г. в селекционных питомниках испытывался гибридный материал арахиса. Первые сорта арахиса 'ВНИИМК 344', 'ВНИИМК 433' и 'Испанский улучшенный' получены на основе сортотипов Испанский и Валенсия методом индивидуального отбора. Затем исходный материал начали создавать методом внутривидовой гибридизации. Сорт 'Краснодарец 14' крупноплодный и низколузжистый. Сорт 'Краснодарец 13' в условиях Краснодарского края в селекционном севообороте в 1995 г. дал урожай бобов 2,7–3,3 т/га (без орошения). По данным сотрудников ВНИИМК Д. И. Обыдало и И. А. Огаркова (Obydalo, Ogarkov, 2002), перспективные линии арахиса имели массу 1000 семян 600–900 г, а некоторые с особо крупными семенами достигали 1200 г. В 1940 г. посевы арахиса в стране достигали 23,1 тыс. га. В 2005 г. в Госреестр включен сорт арахиса 'Отрадокубанский', созданный сотрудниками ВИР, который по настоящее время остается единственным районированным сортом арахиса. В начале 2000-х годов производство арахиса в России практически прекратилось. Прекращена и селекционная работа. В то же время импорт арахиса в РФ превышает 100 тыс. т ежегодно (Tuz, 2018). В последние годы производство арахисовых бобов в мире возрастает за счет увеличения посевных площадей, использования высокоурожайных сортов и современной агротехники. По данным ФАОСТАТ, в 2017 г. площади посева под арахисом составили 32,6 млн га (http://www.fao.org/faostat/en/#home), в то время как в 2010 г. они составляли 24,6 млн га (Rami et al., 2014). Ведущие страны по производству арахиса на 2017 г. – Индия (5,3 млн га), Китай (4,6 млн га) и страны Африки: Нигерия (2,8 млн га), Судан (2,0 млн га), Танзания (1,1 млн га) и др. В экономике Сенегала, Нигерии, Танзании, Мозамбика, Уганды, Нигера и ряда других стран арахис имеет первостепенное значение. На Американском континенте наибольшие площади сосредоточены в Бразилии (154,3 тыс. га), Аргентине (334,05 тыс. га), Мексике (58,565 тыс. га), США (718,57 тыс. га).

Основные направления селекции

Селекция арахиса в мире сосредоточена на повышении урожайности, улучшении качества масла и продукции переработки растительного сырья, их безопасности (отсутствие токсинов и аллергенности), а также на устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам. Но важнейшими задачами селекции остаются урожайность, содержание масла и его качество.

Урожайность арахиса значительно варьирует между регионами и странами в регионе. В Азии урожайность колеблется от 1,5 т/га в Индии до 3 т/га в Китае, Северной и Южной Америке до 3 т/га. В Африке самая низкая урожайность, в среднем 1 т/га (Rami et al., 2014). К 2017 г., по данным ФАО (http://www.fao.org/faostat/en/#home), урожаи арахиса значительно выросли и составили 4,0–4,5 т/га в США, Иране, Турции; 2,9–3,7 т/га – в Китае, 1,7 т/га – в Индии. Самые высокие урожаи бобов получают в Израиле (5,1 т/га в 2016; 5,9 т/га – в 2017 г.). В европейских странах урожаи ниже: в Испании – 2,6 т/га, в Болгарии – 1,7 т/га (http://www.fao.org/faostat/en/#home). Арахис на Украине в фермерских хо-

зяйствах дает урожай 3 т/га на поливе. Возделываются сорта 'Валенсия', 'Валенсия 433', 'Степняк' (Peanut cultivation…, 2018).

Самый распространенный метод селекции арахиса – индивидуальный отбор. Именно этим методом выведены все первые отечественные сорта. Несмотря на сложность гибридизации, в селекции арахиса в мире используется внутри- и межвидовая гибридизация. Дикие виды являются источниками устойчивости ко многим болезням, а также к таким факторам, как холодостойкость, засухоустойчивость.

Производство арахиса может быть сильно ограничено рядом заболеваний, вызванных вирусами, грибами, бактериями, а также повреждением насекомыми и другими вредителями. Поздняя пятнистость листьев, вызываемая *Cercosporidium personatum* (Berk. & Curt.) Deighton, является основным грибным заболеванием, ограничивающим производство арахиса во всем мире. Поражение растений этим патогеном приводит к снижению урожая на 30–70% (Singh et al., 2011; Woodward et al., 2014). Установлено, что устойчивость к *C. personatum* проявляет дикий вид *A. cardenasii* (Company et al., 1982). Получены линии от межвидовых гибридов *A. cardenasii* и *A. hypogaea*. Инбредные рекомбинантные линии расщепляющейся популяции исследовали с помощью молекулярных маркеров и отобрали устойчивые формы с использованием маркеров количественных признаков (QTLs), связанных с устойчивостью к *C. personatum*. Другие патогены – это серая гниль (возбудитель – *Botrytis cinerea* Fr.) (устойчивый сорт 'Валенсия'); корневая и стеблевая гниль – *Sclerotium rolfsii* Curzi (устойчивые образцы с острова Ява, устойчивые сорта 'Virginia Runner', 'African') (Woodward et al., 2005; 2014). Ржавчина (возбудитель – *Puccinia arachidis* Speg.) также поражает арахис (Gowda et al., 1990). Ржавчина и пятнистость листьев часто встречаются вместе и вызывают до 50–70% потерь урожая (Subrahmanyam et al., 1985). В Индии в ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) с использованием молекулярных маркеров выявлены локусы QTL, контролирующие устойчивость к ржавчине у сортов арахиса 'ICGV 94114', 'JL24', 'TAG24'. Устойчивые к ржавчине линии, полученные на основе этих сортов, показали увеличение урожайности бобов от 56% до 96% в одних случаях и 39–79% – в других (Desmae et al., 2019).

Болезнь розеток (Rosette) арахиса, вызываемая вирусом розеток (GRV – the groundnut rosette virus), – заболевание, в результате которого зараженные растения становятся хлоротичными и очень низкорослыми (Subrahmanyam et al., 2001). Авторами в течение трех вегетационных сезонов на 116 образцах, представляющих 28 видов рода *Arachis* L., изучалась устойчивость к данному заболеванию и выявлено отсутствие поражения у 25 образцов 11 видов. Устойчивость к вирусу розеток определяется двумя независимыми рецессивными генами. Селекция с использованием этих форм привела к созданию позднеспелых сортов сортотипа Вирджиния и ранне- и среднеспелых сортов Испанского сортотипа (Desmae et al., 2019). Материал, устойчивый к болезни розеток –'UGA 2', 'M572.801', 'ICG 14705', 'ICG 13099', 'ICG 9449' и др. (Monyo, Varshney, 2016).

В России актуальна селекция арахиса на устойчивость к фузариозному увяданию. Установлено, что все стелющиеся формы поражаются меньше, чем кустовые. (Vakhrusheva, 1998). Устойчивость к болезням у арахиса наследуется преимущественно качественно, в отличие от таких признаков, как урожайность, качество и содержание масла, засухоустойчивость, которые наследуются количественно (Desmae et al., 2019).

Вредителями арахиса являются тли, распространяющие вирусные заболевания, вызывая увядание, а также майский хрущ, проволочный червь, нематоды. Устойчивые к нематоде формы были получены с помощью интрогрессии генов А-генома от *A. cardenasii*, дикого диплоида, культивируемому арахису (Simpson et al., 1993).

Арахис может быть заражен штаммами патогенных грибов *Aspergillus flavus* Linkex Fr. и *A. parasiticus* Speare, которые вырабатывают высокотоксичное вещество – афлатоксин, содержание которого делает невозможным пищевое и кормовое использование продукции (Diener, Davis, 1969). Загрязнение афлатоксином является серьезным препятствием для мировой торговли арахисом (Monyo et al., 2012). Теплый климат с небольшим количеством осадков обуславливает высокое содержание афлатоксигенных *Aspergillus* spp. в почве и высокий уровень афлатоксина в арахисе. Бобы и семена арахиса могут быть заражены *A. flavus* и в процессе высыхания после сбора урожая. Создание сортов арахиса с устойчивостью к проникновению гриба исключила бы возможность заражения. S. N. Nigam et al. (2009) описали большое количество линий арахиса, которые показали устойчивость к афлотоксину, включая пять элитных линий, рекомендованных для выращивания.

Более чем 70% площадей возделывания арахиса находятся в регионах, подверженных засухам, и засуха является основным производственным ограничением. Ранние засухи в середине и в конце сезона сильно влияют на урожайность, но наиболее критична засуха в конце сезона. Раннеспелость позволяет избежать стрессовых ситуаций, вызванных засухой (Desmae et al., 2019).

Для повышения урожайности используют азофиксирующие бактерии. Установлена способность штаммов клубеньковых бактерий влиять на повышение активности симбиотической фиксации азота, что повышает урожай сортов и линий арахиса (Phillips et al., 1989; Badawi et al., 2011). Кроме того, способность аккумулировать азот клубеньками позволяет использовать культуру арахиса как сидерат и для оздоровления почвы (Toomsan et al., 1995). Сочетание компоста из арахисовой ботвы с комбинированной инокуляцией биоудобрений (*Azotobacter*, *Azospirillum*, *Phosphobacteria*, *Rhizobium*) приводит к повышению урожайности арахиса (Mathivanan, Jayaraman, 2019). Ризобактерии влияют на регуляторы роста растений, особенно ауксин, гиббереллин и цитокинин, то есть способствуют развитию растений. *Azotobacter* способен вырабатывать фунгицидные соединения, которые борются с болезнями растений, улучшают жизнеспособность и всхожесть и, как следствие, улучшают общий рост растений (Chen, 2006).

Для повышения продуктивности арахиса важную роль играют генетические исследования, а также успехи в геномике этой культуры, включая секвенирование генома, применение молекулярных маркеров, построение генетических карт, анализ локусов количественных признаков (QTL) и др. (Desmae et al., 2019). Интеграция геномного инструментария в селекционный процесс арахиса позволит преодолеть ограничения, связанные с применением методов традиционной селек-

ции, и обеспечит существенное повышение урожайности и создание сортов арахиса нового поколения интенсивного типа: устойчивых, с высокими показателями пищевых, кормовых и технологических качеств, высокотехнологичных, соответствующих современным требованиям рынка и агропроизводства.

Для России актуально создание скороспелых сортов арахиса. В странах Африки вегетационный период разных сортов арахиса составляет от 110 до 160 дней (Bakhareva, 1978). Д. П. Умену удалось сократить вегетационный период арахиса до 125–130 дней (сорт 'Желудь'), а затем до 115–120 у сорта 'Краснодарец 13' (Umen, 1967). Но для южных регионов России необходимы сорта с продолжительностью вегетационного периода 100–110 дней (Obydalo, Ogarkov, 2002). Для механизированной уборки требуются сорта кустовой или полукустовой форм, с компактным расположением бобов у основания куста и относительно прочным прикреплением их к гинофорам. Основные параметры идеального сорта арахиса для юга России: высокая урожайность – свыше 3 т/га без орошения, раннее созревание – 100–110 дней от всходов до уборочной спелости, масличность семян – 52–56 %, лузжистость бобов – 23–27%, крупносемянность (масса 1000 семян – 600–700 г), хорошие вкусовые качества семян, приспособленность к механизированному возделыванию и уборке (Obydalo, Ogarkov, 2002). Для создания таких сортов арахиса необходимо привлекать мировые генетические ресурсы культуры.

Коллекции арахиса созданы в 9 странах мира. В Международном генном банке ICRISAT в Индии к 2012 году насчитывалось 15 445 образцов арахиса, в том числе 477 образцов диких видов; в Институте масличных культур Китайской академии аграрных наук – 8083, в том числе 246 образцов диких видов; в Аргентине – 3640, в том числе 106 образцов диких видов; в Бразилии 2420 образцов, в том числе 1220 образцов диких видов; в США в университете Северной Каролины – 1146, из них 406 образцов дикорастущих видов (Pandey et al., 2012).

Коллекция ВИР насчитывает 1823 образца культурного арахиса из 74 стран. В коллекции представлены все сортотипы, описанные в литературе. Образцы коллекции различаются по продуктивности, размеру семян и бобов, количеству семян в бобе, окраске семенной кожуры, вкусовым качествам (Vakhrusheva, 1995), жирнокислотному составу (Gavrilova et al., 2020).

Таким образом, использование мировых генетических ресурсов арахиса будет способствовать возрождению селекционной работы и возделыванию культуры в России.

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».

References/Литература

Badawi F.Sh.F, Biomy A.M.M., Desoky A.H. Peanut plant growth and yield as influenced by co-inoculation with *Bradyrhizobium* and some rhizo-microorganisms under sandy loam soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*. 2011;56(1):17-25. DOI: org/10.1016/j.aoas.2011.05.005

Bakhareva S.N. Groundnuts in Western Africa (Arakhis Zapadnoy Afriki.) *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1978;61(2):79-108. [in Russian] (Бахарева С.Н. Арахис Западной Африки. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1978;61(2):79-108).

Barker N.P. A Review and Survey of Basicarpy, Geocarpy, and Amphicarpy in the African and Madagascan Flora *Annals of the Missouri Botanical Garden.* 2005;92(4):445-462. Available from: https://www.jstor.org/stable/40035737 [accessed Dec. 20, 2019].

Bertioli D.J., Seijo G., Freitas F.O., Valls J.F.M., Leal-Bertioli S.C.M., Moretzsohn M.C. An overview of peanut and its wild relatives. *Plant Genetic Resources.* 2011;9(1):134-149. DOI: 10.1017/S1479262110000444

Chen J.H. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In: *International Workshop on Sustained Management of the Soil Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use*, *October 16–26, 2006.* Bangkok, Thailand; 2006. p.1-11.

Chen X., Li H., Pandey M.K., Yang Q., Wang X., Garg V. et al. Draft genome of the peanut A-genome progenitor (*Arachis duranensis*) provides insights into geocarpy, oil biosynthesis, and allergens. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016;113(24):6785-6790. DOI: org/10.1073/pnas.1600899113

Chen X., Lu Q., Liu H., Zhang J., Hong Y., Lan H. et al. Sequencing of Cultivated Peanut, *Arachis hypogaea*, Yields Insights into Genome Evolution and Oil Improvement. *Molecular Plant*. 2019;12(7):920-934. DOI: 10.1016/j.molp.2019.03.005

Chen Z., Wang M.L., Barkley N.A., Pittman R. A Simple Allele-Specific PCR Assay for Detecting *FAD2* Alleles in Both A and B Genomes of the Cultivated Peanut for High-Oleate Trait Selection. *Plant Molecular Biology Reporter*. 2010;28:542-548. DOI: 10.1007/s11105-010-0181-5

Company M., Stalker H.T., Wynne J.C. Cytology and leafspot resistance in *Arachis hypogaea* × wild species hybrids. *Euphytica*. 1982;31:885-893. DOI: 10.1007/BF00039228

Desmae H., Janila P., Okori P., Pandey M.K., Motagi B.N., Monyo E. et al. Genetics, genomics and breeding of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Breeding*. 2019;138(4):425-444. DOI: 10.1111/pbr.12645

Diener U.L., Davis N.D. Aflatoxin formation by *Aspergillus flavus*. In: L.A. Godblatt (ed.). *Aflatoxin: scientific background, control and implications.* New York, NY: Academic Press; 1969. p.13-54. DOI: 10.1016/B978-0-12-395513-5.50007-6

Du Plessis K., Steinman H. Practical aspects of adverse reactions to peanut. *Current Allergy and Clinical Immunology*. 2004;17(1):10-14.

Ermakov A.I., Davidyan G.G., Yarosh N.P., Rykova R.P., Anashchenko A.V., Lemeshev N.K., Megorskaya O.M. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 337. Oil crops. Characters of oil quality according to fatty acids content (Maslichnye kultury. Kharakteristika kachestva masla po soderzhaniyu zhirnykh kislot). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Ермаков А.И., Давидян Г.Г., Ярош Н.П., Анащенко А.В., Лемешев Н.К, Рыкова Р.П., Мегорская О.М. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 337. Масличные культуры. Характеристика качества масла по содержанию жирных кислот. Ленинград: ВИР; 1982).

Ermakov A.I., Yarosh N.P. Features and variability of oil seed quality in oil crops (Osobennosti i izmenchivost kachestva masla semyan maslichnykh kulturnykh rasteniy). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant*

Breeding. 1976;56(3):3-56. [in Russian] (Ермаков А.И., Ярош Н.П. Особенности и изменчивость качества масла семян масличных культурных растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1976;56(3):3-56).

FAOSTAT: Food and agriculture data. Available from: http://www.fao.org/faostat/en/#home [accessed Dec. 13, 2019].

Gavrilova V.A., Shelenga T.V., Porokhovinova E.A., Dubovskaya A.G., Konkova N.G., Grigoryev S.V. et al. The diversity of fatty acids composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. *Biological Communications* [preprint] 2020.

Gowda M.V.C., Arunahalam V., Bandyopadhyay A. Rust resistance and its stability in lines of varying productivity in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) *Plant Breeding*. 1990;105(3):229-237. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1990.tb01200.x

Husted L. Cytological studies of the peanut *Arachis*. I. Chromosome number and morphology. *Cytologia*. 1933;5(1):109-117. DOI: 10.1508/cytologia.5.109

Ivanenko E.N. Groundnut: a promising oilseed crop (Arakhis – perspektivnaya maslichnaya kultura) *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1989;125:31-35. [in Russian] (Иваненко Е.Н. Арахис – перспективная масличная культура. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 1989;125:31-35).

Jones J.B., Provost M., Keaver L., Breen C., Ludy M.-J., Mattes R.D. A randomized trial on the effects of flavorings on the health benefits of daily peanut consumption. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2014;99(3):490-496. DOI: 10.3945/ajcn.113.069401

Jung S., Tate P.L., Horn R., Kochert G., Moore K., Abbott A.G. The Phylogenetic Relationship of Possible Progenitors of the Cultivated Peanut *Journal of Heredity.* 2003;94(4):334-340. DOI: 10.1093/jhered/esg061

Kochert G., Halward T., Branch W.D., Simpson C.E. RFLP variability in peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars and wild species. *Theoretical and Applied Genetics.* 1991;81:565-570. DOI: 10.1007/bf00226719

Krapovickas A., Gregory W.C. Taxonomia del género *Arachis* (Leguminosae). *Bonplandia*. 1994;8(1-4):1-186. [in Spanish]

Kris-Etherton P.M., Yu-Poth S., Sabate J., Ratcliffe H.E., Zhao G., Etherton T.D. Nuts and their bioactive constituents: effects on serum lipids and other factors that affect disease risk. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 1999;70(3):504-511. DOI: 10.1093/ajcn/70.3.504s

Luzina Z.A. *Arachis* L. – Peanut (Arakhis). In: E.V. Vulf (ed.). *Flora of Cultivated Plants of the USSR. Vol. 7. Oil crops* (*Kulturnaya flora SSSR. T. 7. Maslichnye*). Moscow; Leningrad; 1941. p.136-192. [in Russian] (Лузина З.А. *Arachis* L. – Арахис. В кн: *Культурная флора СССР. Т. 7. Масличные* / под ред. Е.В. Вульфа. Москва; Ленинград; 1941. С.136-192).

Luzina Z.A. Peanut (Arakhis). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1954. [in Russian] (Лузина З.А. Арахис. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1954).

Mathivanan J., Jayaraman P. Enhancement of Growth and Yield of *Arachis hypogeae* L. Using Different Biofertilizers. *International Letters of Natural Sciences.* 2019;74:1-9. DOI: 10.18052/www.scipress.com/ilns.74.1

Matveeva T.V., Otten L. Widespread occurrence of natural genetic transformation of plants by *Agrobacterium. Plant Molecular Biology*. 2019;101(4-5):415-437. DOI: 10.1007/s11103-019-00913-y

Matveeva T.V., Sokornova S.V. Biological traits of naturally transgenic plants and their evolutional roles. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2017;64(5):635-648.

Monyo E.S., Njoroge S.M.C., Coe R., Osiru M., Madinda F., Waliyar F. et al. Occurrence and distribution of aflatoxin contamination in groundnuts (*Arachis hypogaea* L) and population densities of Aflatoxigenic Aspergilli in Malawi. *Crop Protection*. 2012;42:149-155. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.07.004

Monyo E.S., Varshney R.K. Seven seasons of learning and engaging small holder farmers in the drought-prone areas of sub-Saharan Africa and South Asia through Tropical Legumes, 2007-2014*. Patancheru:* ICRISAT; 2016.

Murty U.R., Jahnavi M.R. The 'A' genome of *Arachis hypogaea* L. *Cytologia.* 1986;51:241-250.

Nigam S.N., Waliyar F., Aruna F.R., Reddy S.V., Kumar L.P., Craufurd P.Q. et al. Breeding Peanut for Resistance to Aflatoxin Contamination at ICRISAT. *Peanut Science*. 2009;36(1): 42-49. DOI: 10.3146/AT07-008

Obydalo D.I., Ogarkov I.A. Peanuts: from the tropics to the temperate latitudes (Arakhis: iz tropikov – v umerennye shiroty). In*: History of Scientific Research in VNIIMK for 90 years* (*Istoriya nauchnykh issledovaniy vo VNIIMK za 90 let*). Krasnodar; 2002. p.88-94. [in Russian] (Обыдало Д.И., Огарков И.А. Арахис: из тропиков – в умеренные широты. В кн.: *История научных исследований во ВНИИМК за 90 лет.* Краснодар; 2002. С.88-94).

Paik-Ro O.G., Smith R.L., Knauft D.A. Restriction fragment length polymorphism evaluation of six peanut species within the *Arachis* section. *Theoretical and Applied Genetics.*1992;84:201-208. DOI: 10.1007/bf00224001

Pandey M.K., Monyo E., Ozias-Akins P., Liang X., Guimarães P., Nigam S.N. et al. Advances in *Arachis* genomics for peanut improvement *Biotechnology Advances*. 2012;30(3):639-651. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.11.001

Peanut cultivation gains more and more popularity in Ukraine (V Ukraine vse bolshey populyarnosti nabyraet vyrashchyvaniya arakhysa). *AgroReview*. 2018. [in Russian] (В Украине все большей популярности набирает выращивания арахиса. *AgroReview*. 2018). URL: https://agroreview.com/ru/news/v-ukrayne-vse-bolshej-populyarnosty-nabyraet-vyrashchyvanyya-arahysa [дата обращения: 13.12.2019].

Phillips T.D., Wynne J.C., Elkan G.H., Schneeweis T.J. Effect of Bradyrhizobium Strain on Combining Ability for Nitrogen Fixation in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Breeding*. 1989;103(2):141-148. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1989.tb00362.x

Raina S.N., Mukai Y. Detection of a variable number of 18S-5.8S-26S and 5S ribosomal DNA loci by fluorescent *in situ* hybridization in diploid and tetraploid *Arachis* species. *Genome*. 2011;42(1):52-59. DOI: 10.1139/g98-092

Raina S.N., Rani V., Kojima T., Ogihara Y., Singh K.P., Devarumath R.M. RAPD and ISSR fingerprints as useful genetic markers for analysis of genetic diversity, varietal identification, and phylogenetic relationships in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivars and wild species. *Genome*. 2001;44(5):763-772.

Rami J.-F., Leal-Bertioli S.C.M., Foncéka D., Moretzsohn M.C., Bertioli D.J. Groundnut In: A. Pratap, J. Kumar (eds). *Alien Gene Transfer in Crop Plants. Vol. 2. Achievements and Impacts*. Philadelphia: Springer; 2014. p.253-279. DOI: 10.1007/978-1-4614-9572-7_12

Settaluri V.S., Kandala C.V.K., Puppala N., Sundaram J. Peanuts and Their Nutritional Aspects – A Review.

Food and Nutrition Sciences. 2012;3(12):1644-1650. DOI: 10.4236/fns.2012.312215

Simpson C.E., Nelson S.C., Star J.L., Woodard K.E., Smith O.D. Registration of TxAg-6 and TxAG-7 peanut germplasm lines. *Crop Science.* 1993;33(6):1418. DOI: 10.2135/cropsci1993.0011183X003300060079x

Singh A.K. Putative genome donors of *Arachis hypogaea (Fabaceae*), evidence from crosses with synthetic amphidiploids. *Plant Systematics and Evolution*. 1988;160:143-151. DOI: 10.1007/bf00936041

Singh A.K., Moss J.P. Utilization of wild relatives in genetic improvement of *Arachis hypogaea* L.: 5. Genome analysis in section *Arachis* and its implication in gene transfer. *Theoretical and Applied Genetics*. 1984;68:355-364. DOI: 10.1007/bf00267889

Singh A.K., Moss J.P. Utilization of wild relatives in genetic improvement of *Arachis hypogaea* L.: Part 2: chromosome complement of species in section *Arachis*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1982;61:305-314. DOI: 10.1007/bf00272846

Singh M.P., Erickson J.E., Boote K.J., Tillman B.J., Jones J.W., van Bruggen A.H.C. Late Leaf Spot Effects on Growth, Photosynthesis, and Yield in Peanut Cultivars of Differing Resistance. *Agronomy Journal. 2011;*103(1):85-91. DOI: 10.2134/agronj2010.0322

Smartt J., Gregory W.C., Pfluge Gregory M. The genomes of *Arachis hypogaea* L. Cytogenetic studies of putative genome donors. *Euphytica*. 1978;27:665-675. DOI: 10.1007/bf00023701

Smith B.W. *Arachis hypogaea*. Aerial flower and subterranean fruit. *American Journal of Botany* 1950;37(10):802-815. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1950.tb11073.x

Stalker H.T. A new species in section *Arachis* of peanuts with a D genome. *American Journal of Botany*. 1991;78(5):630-637. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1991.tb12587.x

Strebbins G.L. Genetics, evolution and plant breeding. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 1957;17:129-141.

Subrahmanyam P., Anaidu R., Reddy L.J., Lava Kumar P., Ferguson M.E. Resistance to groundnut rosette disease in wild *Arachis* species. *Annals of Applied Biology*. 2001;139(1):45-50. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2001.tb00129.x

Subrahmanyam P., Moss J.P., Mcdonald D., Rao P.V.S., Rao V.R. Resistance to leaf spot caused by *Cercosporidium personatum* in wild *Arachis* species. *Plant Disease*. 1985;69:951-954. DOI: 10.1094/PD-69-951

Thompson L.K., Burgess C.L., Skinner E.N. Localization of phytochrome during peanut (*Arachis hypogaea*) gynophore and ovule development. *American Journal of Botany* 1992;79(7):828-832. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1992.tb13660.x

Thompson L.K., Ziv M., Deitzer G.F. Photocontrol of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Embryo and Ovule Development in Vitro. *Plant Physiology*. 1985;78(2):370-373. DOI: 10.1104/pp.78.2.370

Toomsan B., McDonagh J.F., Limpinuntana V., Giller K.E. Nitrogen fixation by groundnut and soyabean and residual nitrogen benefits to rice in farmers' fields in Northeast Thailand. *Plant and Soil*. 1995;175(1):45-56. DOI: 10.1007/bf02413009

Tuz R.K., Podolnaya L.P., Asfandiyarova M.Sh., Dubovskaya A.G., Eremin V.A., Migacheva E.O. Variability of peanut samples of VNIIMK's breeding in the conditions of the Astrakhan region. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2018;4(176):64-67. [in Russian] (Туз Р.К., Подольная Л.П., Асфандиярова М.Ш., Дубовская А.Г., Еремин В.А., Мигачева Е.О. Изменчивость образцов арахиса селекции ВНИИМК в условиях Астраханской области. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК* 2018;4(176):64-67). DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-64-67

Umen D.P. Peanuts. A guide to the breeding and seed production of oilseeds (Arakhis. Rukovodstvo po selektsii i semenovodstvu maslichnykh kultur). Moscow; 1967. [in Russian] (Умен Д.П. Арахис. Руководство по селекции и семеноводству масличных культур. Москва; 1967).

Vakhrusheva T.E. Evaluation of peanut collection (*Arachis hipogaea* L.). Guidelines (Izucheniye kollektsii arakhisa (*Arachis hipogaea* L.). Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 1995. [in Russian] (Изучение коллекции арахиса (*Arachis hipogaea* L.). Методические указания. Санкт-Петербург: ВИР; 1995).

Vakhrusheva T.E. Peanut (Arakhis). In: *Oil Crops for Food Purposes in Russia (Breeding Problems and Assortment) (Maslichnye kultury dlya pishchevogo ispolzovaniya v Rossii [problemy selektsii, sortiment])*. St. Petersburg: VIR; 1998. p.20-23. [in Russian] (Вахрушева Т.Е. Арахис. В кн.: *Масличные культуры для пищевого использования в России (проблемы селекции, сортимент)*. Санкт-Петербург: ВИР; 1998. С.20-23).

Vakhrusheva T.E., Pereverzev D.S. The use of peanuts in the confectionery industry (Ispolzovaniye arakhisa v konditerskoy promyshlennosti) *AgroNIITEIPP.* 1993;17(2):30. [in Russian] (Вахрушева Т.Е., Переверзев Д.С. Использование арахиса в кондитерской промышленности. *АгроНИИТЭИПП*. 1993;17(2):30).

Valls J.F.M., Simpson C.E. New species of *Arachis* (Leguminosae) from Brazil, Paraguay and Bolivia. *Bonplandia*. 2005;14(1-2):35-63. DOI: 10.30972/bon.141-21387

Wang M.L., Khera P., Pandey M.K., Wang H., Qiao L., Feng S. et al. Genetic Mapping of QTLs Controlling Fatty Acids Provided Insights into the Genetic Control of Fatty Acid Synthesis Pathway in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *PLOS ONE* 2015;10(4):e0119454. DOI: 10.1371/journal.pone.0119454

Woodward J.E., Brenneman T.B., Kemerait Jr. R.C., Culbreath A.K., Clark J.R. First Report of Botrytis Blight of Peanut Caused by *Botrytis cinerea* in Georgia. *Plant Disease.* 2005;89(8):910. DOI: 10.1094/PD-89-0910C

Woodward J.E., Brenneman T.B., Kemerait R.C., Culbreath A.K., Smith N.B. On-Farm Evaluations of Reduced Input Fungicide Programs in Peanut Fields with Low, Moderate, or High Levels of Disease Risk. *Peanut Science. 2014;*41(1):50-57. DOI: 10.3146/PS11-23R2.1

Zaaboul F., Raza H., Chen C., Liu Y. Characterization of Peanut Oil Bodies Integral Proteins, Lipids, and Their Associated Phytochemicals. *Journal of Food Science*. 2018;83(1):93-100. DOI: 10.1111/1750-3841.13995

Zhang Y., Sun J., Xia H., Zhao C., Hou L., Wang B. et al. Characterization of peanut phytochromes and their possible regulating roles in early peanut pod development. *PLOS ONE.* 2018;13(5):e0198041. DOI: 10.1371/journal.pone.0198041

Zharare G.E., Blamey F.P.C., Asher C.J. Initiation and Morphogenesis of Groundnut *(Arachis hypogaea* L.) Pods in Solution Culture. *Annals of Botany*. 1998;81(3):391-396. DOI: 10.1006/anbo.1997.0569

Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi). Leningrad; 1971. [in Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. Ленинград; 1971).

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

Кишлян Н.В., Бемова В.Д., Матвеева Т.В., Гаврилова В.А. Биологические особенности и возделывание арахиса (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):119-127. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-119-127

Kishlyan N.V., Bemova V.D., Matveeva T.V., Gavrilova V.A. Biological peculiarities and cultivation of groundnut (a review). Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):119-127. DOI:10.30901/2227-8834-2020-1-119-127

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/10.30901/2227-8834-2020-1-119-127

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
Kishlyan N.V. http://orcid.org/0000-0003-4454-6948
Bemova V.D. http://orcid.org/0000-0002-9574-0356
Matveeva T. V. http://orcid.org/0000-0001-8569-6665
Gavrilova V.A. http://orcid.org/0000-0002-8110-9168

Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Бангладеш, Пакистана и Бутана[1]

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-128-138
CC BY
УДК 631.523(540)
Поступление/Received: 19.11.2019
Принято/Accepted: 11.03.2020

Mobilization of plant genetic resources from Bangladesh, Pakistan and Bhutan

Н. П. ЛОСКУТОВА, Т. М. ОЗЕРСКАЯ

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

N. P. LOSKUTOVA, T. M. OZERSKAYA

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

Статья посвящена мобилизации генетических ресурсов растений в коллекцию ВИР с территории Пакистана, Бангладеш (до 1947 года – Британская Индия) и Бутана в результате экспедиций, выписки и обмена образцами. Повторные экспедиционные обследования территорий современного Пакистана и Бангладеш возобновились в послевоенное время. Всего за период с 1971 по 1979 год было проведено три экспедиции: в 1971 и 1978 годах в Пакистан, в 1979 году в Бангладеш. Первая и единственная экспедиция в Бутан состоялась в 1989 году. В результате было собрано и доставлено в институт 2911 образцов. Наибольшее количество образцов было привлечено по следующим группам культур: крупяные – 885; технические – 554, овощные – 517, зерновые – 463. Кроме непосредственного сбора институт постоянно занимался и выпиской образцов. Поступлений из Бутана как в довоенный период, так и с 1946 по 2019 год не было. Из Пакистана поступило 338 образцов, в основном через Министерство сельского хозяйства СССР. Из Бангладеш коллекция института пополнилась всего 28 образцами. Всего за период существования института из Бангладеш, Пакистана и Бутана было мобилизовано 3277 образцов, относящихся к 130 видам, в основном местные образцы, дикорастущие виды и родичи культурных растений.

Ключевые слова: экспедиция, растительные ресурсы, коллекция, образцы.

The article covers the issues of plant genetic resources mobilization to the VIR collection from the territories of Pakistan, Bangladesh (until 1947, British India), and Bhutan as a result of collection missions, seed requests, and germplasm exchange. Repeated expeditionary surveys of the territories of modern Pakistan and Bangladesh resumed in the postwar period. In total, from 1971 to 1979 three expeditions were launched: in 1971 and 1978 to Pakistan, and in 1979 to Bangladesh. The first and the only expedition was sent to Bhutan in 1989. As a result, 2911 plant samples were collected and delivered to the Vavilov Institute. Among the collected plant materials, the most numerous were samples of groat crops (885), industrial crops (554), vegetables (517), and cereals (463). In addition to direct collecting, the Institute was constantly ordering plant germplasm through mail requests. There was no inflow of germplasm from Bhutan either in the prewar period or from 1946 to 2019. From Pakistan 338 samples were received, mostly through the USSR Ministry of Agriculture. Only 28 accessions were added to the Institute's collection from Bangladesh. In total, over the entire period of the Institute's existence, the total amount of germplasm mobilized from Bangladesh, Pakistan and Bhutan amounted to 3277 accessions, representing 130 plant species. Among them there were many landraces, wild species and crops wild relatives.

Key words: expedition, plant germplasm, collection, accessions.

В послевоенное время возобновились повторные экспедиционные обследования регионов, до этого посещавшиеся специалистами института в 1920–1930-е годы. В 1971 и 1978 году состоялись экспедиции в Пакистан, а в 1979 году – в Бангладеш. Пакистан и Бангладеш в 1926–1928 гг. как различные штаты Британской Индии обследовал В. В. Маркович. Попасть в Бутан ему не удалось, но им были обследованы граничащие с Бутаном штаты Сикким[2] и Ассам. Делегация института посетила Бутан лишь один раз, в 1989 году.

Бангладеш. Экспедиция в Бангладеш (рис. 1) была проведена в 1979 году под руководством директора ВИР доктора с. х. наук, члена-корреспондента ВАСХНИЛ В. Ф. Дорофеева с участием сотрудника Никитского ботанического сада кандидата с. х. наук А. А. Ядрова и сотрудника ВНИИФ Е. Д. Коваленко. За время пребывания в Бангладеш делегация ознакомилась со способами возделывания ряда сельскохозяйственных культур и научно-исследовательской работой по этим культурам.

Согласно отчету[3], на момент проведения экспедиции ситуация в растениеводстве страны выглядит следующим образом. Ведущей культурой является рис. Ежегодно рис занимает 80% посевной площади в стране. Однако урожайность зерна в стране довольно низкая, хотя в юго-восточных районах Бенгальской дельты климатические условия благоприятны для получения даже двух-трех урожаев в год. В зависимости от сезона выращивания все сорта риса объединены в три группы: осенние сорта – аус, зимние сорта – аман и летние сорта – боро. Наибольшую площадь занимают посевы зимних сортов риса (аман), наименьшую – летние

[1] Продолжение статьи «Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Индии»

[2] Географические названия и названия учреждений (на русском или иностранном языке) приводятся в авторской редакции экспедиционных отчетов.

[3] Архив отдела интродукции ВИР. Полный отчет о результатах командирования советских ученых за границу по линии международных научно-технических связей. 5. Бангладеш 1979 (841). 61 с.

Рис. 1. **Точки сбора образцов экспедицией В. Ф. Дорофеева на территории Бангладеш в 1979 г.**

Fig. 1. **Collection sites of the expedition by V. F. Dorofeev in Bangladesh in 1979**

сорта (боро). По урожайности с единицы площади на первом месте стоят сорта группы боро, на последнем – сорта группы аус. Всего в стране выращивают около 500 сортов риса. Многочисленные местные сорта, относящиеся к группе аман, подразделяют на две подгруппы: «рис шаил» и «рис джоли», или «плавающий». Выращивают их в дождливый сезон, но на разных землях и разными способами. Сорта риса подгруппы шаил культивируют рассадным способом, что является довольно трудоемким процессом. Сорта подгруппы джоли имеют длинный стебель высотой до 5 м, некоторые сорта вырастают в день до 30 см. Благодаря длинному плавающему стеблю рис джоли устойчив к муссонным наводнениям. Рис группы аус выращивают как суходольную культуру. Местные сорта этого типа, как правило, отличается низкой урожайностью. Аус часто выращивают в смеси с шаилом. Посевы ауса расположены вдоль западной границы страны. Сорта риса боро до середины 1960-х годов культивировали в низинах и заболоченных местах. По состоянию на 1979 год, сорта этого типа возделывают в условиях искусственной ирригации и в зимний период. Рис боро не поражается болезнями и вредителями, отличается холодостойкостью и нечувствительностью к фотопериоду. Одно из главных направлений в селекции риса – создание устойчивых к затоплению сортов, так как в период муссонных дождей значительная часть территории оказывается под водой. В институте риса выведены сорта длинностебельного риса, которые выдерживают затопление до одного месяца. В экспедиционном отчете приводится описание наиболее распространенных и перспективных сортов риса, созданных в Междуна-

родном институте риса (IRRI) и внедряемых в Бангладеш. Также описаны болезни, вредители и меры борьбы с ними.

Пшеница является в Бангладеш важной зерновой культурой несмотря на то, что посевы ее невелики, что связано с низкой урожайностью местных сортов. Внедрение современных короткостебельных сортов резко повысило валовые сборы зерна. Но дальнейшее повышение урожайности пшеницы возможно только при улучшении культуры земледелия.

Второй культурой после риса для Бангладеш является джут. По производству джутового волокна Бангладеш занимает первое место в мире. Селекционная работа направлена на создание урожайных высококачественных сортов джута, на разработку приемов защиты от болезней и вредителей, на совершенствование технологии переработки сырого джута на волокно.

Значительное место в сельском хозяйстве отводится культуре сахарного тростника и табака. Хлопчатник – также важная культура, но занимает незначительную площадь. Работы по хлопчатнику ведутся на низком методическом уровне, селекционная работа носит ограниченный характер.

Природные условия Бангладеш благоприятны для возделывания большого набора различных плодовых растений тропической зоны. В стране произрастают не только местные плодовые тропические растения, но и завезенные из других зон тропического пояса: кофейное дерево, кокосовая пальма, ананасы. На рынках главного города страны Дакка и в других городах продаются плоды банана, ананаса, манго, папайи, гуйявы, хлебного дерева, личи, зама, лимонов. Перечисленные выше культуры произрастают практически во всех районах страны, но наибольшее количество манго, цитрусовых, хлебного дерева, финиковой пальмы наблюдается в районах Читтагонга, Рангпура и Силхета. В районе Силхета созданы и самые крупные плантации чая, большая часть которых принадлежит частным английским фирмам. Научно-исследовательская работа по садоводству сосредоточена преимущественно на разработке и совершенствовании методов размножения цитрусовых (особенно бессемянных лимонов, которые объединяют под общим названием «сидлес»), манго, авокадо и кокосовой пальмы.

Набор овощных культур в Бангладеш довольно широкий. Это капуста, томаты, огурцы, столовая свекла, цветная капуста, морковь, чеснок, лук, арбузы, тыквы, некоторые зеленные. По сезонам выращивания основные овощные культуры разделены на две большие условные группы: зимние овощные и летние овощные культуры. К зимней группе относятся цветная капуста, кочанная капуста, томаты, редис, свекла, морковь, патиссоны; к летней – огурцы, лук, чеснок, арбузы, перец. Но некоторые овощные культуры могут сравнительно успешно выращиваться как в зимнее, так и в летнее время, а именно: лук на перо, чеснок, редис, многие местные зеленные. Но вся овощная продукция потребляется на внутреннем рынке страны. В стране отсутствует промышленность, перерабатывающая овощи и фрукты. Научно-исследовательская работа по овощным культурам ограничена опытами по привлечению некоторых новых сортов основных овощных растений из Японии, Индии и других стран, а также изучением различных сортов по программе сравнительного испытания. Подобная работа проводится по кукурузе и зернобобовым культурам.

Члены делегации констатировали, что научные исследования по сельскому хозяйству в стране только начинают развиваться. Проводится опытная работа по бобовым, масличным, овощным и плодовым культурам, а также по пшенице, кукурузе, картофелю, хлопчатнику и табаку. Ведущие научно-исследовательские институты риса (BRRI) и джута (BARI) организованы в 1970–1972 годах. Методы и результаты научной работы не отличаются достаточной глубиной; они также не представляют ценности и даже информационного интереса для сельскохозяйственной науки нашей страны.

Работа делегации проходила в неблагоприятный период года для сбора растительных ресурсов, так как была завершена уборка пшеницы, зимнего риса и других зерновых, овощных и плодовых культур. Весенние посевы и посадки еще не обеспечивали возможности сбора созревших семян или заготовку черенков. Тем не менее члены делегации собрали более 400 образцов семян различных сельскохозяйственных культур, в том числе 162 образца риса и других зерновых, 26 – кукурузы, 34 – зернобобовых, 28 – технических, 14 – масличных, 11 – кормовых, 71 – овощных, 40 – бахчевых, 45 – плодовых и декоративных. Значительное число образцов риса было собрано непосредственно в поле. Большую часть семян овощных, цитрусовых, зернобобовых делегация была вынуждена приобретать на рынках.

Пакистан. В 1971 году В. Ф. Дорофеев (руководитель) и Н. И. Корсаков совершили экспедиционное обследование Западного Пакистана с целью сбора семян культурных растений и их диких родичей и знакомства с методами селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур.

Делегация посетила все научно-исследовательские сельскохозяйственные институты, основные опытные станции и ведущие университеты страны, некоторые крестьянские хозяйства, а также отдельные фирмы (рис. 2). Согласно отчету[4], на момент проведения экспедиции ситуация в растениеводстве страны выглядит следующим образом. Существует три головных научно-исследовательских сельскохозяйственных института (Тандоджаи, Ляльпур и Татта), которым подчинены опытные станции и опорные пункты, служащие местом проведения селекционной и семеноводческой работы. Для семеноводческих целей в некоторых случаях используют и отдельные фермерские хозяйства.

В результате экспедиции собраны сведения и материалы по различным отраслям растениеводства Западного Пакистана, описаны основные возделываемые культуры, приведены характеристики лучших сортов.

В экспедиционном отчете отмечено, что пшеница и рис являются главными продовольственными культурами, составляющими основу продовольственного баланса провинций, а хлопчатник формирует главную статью экспорта. В 1965 году с помощью Н. Борлауга в Пакистане была разработана Государственная программа производства и селекции пшеницы. В основу этого проекта легло создание урожайных, короткостебельных неполегающих и иммунных сортов и массовое их внедрение в производство в течение пяти лет. Селекция пшеницы сосредоточена в трех научно-исследовательских сельскохозяйственных институтах (Тандод-

[4] Архив отдела интродукции ВИР. Растениеводство Западного Пакистана (Отчет о поездке сотрудников ВИР В. Ф. Дорофеева и Н. И. Корсакова в Западный Пакистан с 24 декабря 1970 г. по 5 февраля 1971 г.). 5 Пакистан 1971 (495). 150 с.

Рис. 2. Точки сбора образцов экспедициями В. Ф. Дорофеева (1971 г.) и Н. И. Корсакова (1978 г.) на территории Пакистана

Fig. 2. Collection sites of the expeditions by V. F. Dorofeev (1971) and by N.I. Korsakov (1978) in Pakistan

жам в провинции Синд, Ляльпур в Пенджабе и Тарнабь в Пешаваре). Основные направления складываются преимущественно из шести пунктов: селекция на урожайность, на устойчивость против полегания, на отзывчивость к внесению высоких доз минеральных удобрений, на устойчивость против засухи и жары, на устойчивость к болезням, на высокое качество зерна. Отдельной задачей, направленной на увеличение эффективности использования орошаемых земель, является селекция среднеспелых и скороспелых сортов для поздних сроков посева. Большое значение имеют короткостебельные сорта пшеницы, характеризующиеся высокой семенной продуктивностью, устойчивостью к полеганию, слабой восприимчивостью к грибным болезням и высоким качеством зерна. К лучшим из них относятся: 'Barani 70'[5], 'Khushal 69', 'Mexipak 69', 'Turbela 70'.

Рис является одной из ведущих культур поймы реки Инд. Наиболее распространены сорта риса 'Kangni', 'Sonahari Kangni', 'Kangni 27', Kangni × Torch (16-1-28). Особый интерес как исходный материал для селекции могут представлять скороспелые и высокоурожайные сорта риса с отличным качеством зерна. Лучшие из них созданы гибридизацией местных сортов с филиппинскими неполегающими сортами: 'Basmati 197', 'Basmati 198', 'IRRI-Pak'.

Просовидные культуры (просо, сорго, могар, чумиза) относительно неприхотливы, не требуют больших затрат труда и средств, поэтому пользуются успехом у местного населения. Основные площади просовидных культур сосредоточены в провинциях Синд и Пенджаб, где они являются одним из основных продуктов питания для многих сельских жителей. Селекция просовидных практически не ведется.

Кукуруза выращивается как продовольственная и кормовая культура в течение круглого года в южной части Западного Пакистана и может давать два урожая в год в северных районах страны. С ростом хлопчатобумажной промышленности в стране значение кукурузы возрастает еще и как основного источника крахмала. Значительное количество кукурузного зерна используется для выработки глюкозы, кукурузного сахара, кукурузного масла и других продуктов. Научно-исследовательская и селекционная работа с кукурузой направлена на получение высокой урожайности и на создание сортов, хорошо приспособленных для выращивания в различных природно-климатических зонах страны. Гибридные сорта кукурузы по продолжитель-

[5] Русские и латинские названия сортов приводятся в авторской редакции экспедиционных отчетов.

ности вегетационного периода подразделяется на три группы: раннеспелая (70–75 дней), среднеспелая (80–90 дней) и позднеспелая (100–110 дней). Среди всех этих групп выделяются по урожайности 'DS-728', 'DS-806' и 'DS-697'. Продуктивность простых гибридов на 15% выше, чем у двойных межлинейных гибридов. В последнее время внимание селекционеров обращено на создание сортов-синтетиков кукурузы, так как их семеноводство значительно легче, чем гибридов. В Западном Пакистане имеются заметные успехи в их создании. Представляют интерес следующие высокоурожайные пакистанские сорта-синтетики кукурузы: 'S-2', 'S-200', 'S-494', 'S-49', 'J-1'.

Большой раздел отчета посвящен хлопчатнику, который в Западном Пакистане является основной культурой, дающей сырье для экспорта. Западный Пакистан является родиной диплоидного хлопчатника. До сих пор на каменистых отрогах близ Карачи находят дикий вид хлопчатника *Gossypium stocksii* Mast[6]. Если некоторые виды азиатского хлопчатника являются местными для Пакистана (виды 2n = 26), то другие (2n = 52) были в разные годы интродуцированы из Америки. Из Мексики, Бразилии и Центральной Америки были завезены сорта хлопчатника *G. hirsutum* L. Эти и другие сорта, доставленные в Западный Пакистан позднее, в процессе возделывания были смешаны местным населением, и такие популяции длинноволокнистых сортов стали называться «Норма». Пакистан является почти монополистом коротковолокнистого хлопчатника, который называется «Камилла». Обычно выращивают не чистые сорта коротковолокнистого хлопчатника, а популяции, представляющие собой смесь 3–4 и более форм. Коротковолокнистые формы хлопчатника – многолетние растения, но культивируют их не более 2–3 лет, так как на 4-й–5-й год происходит снижение продуктивности растений. Заслуживают внимания созданные за последние годы и широко распространенные в Западном Пакистане длинноволокнистые сорта 'S-64-1', 'S-59-1', 'M-100', характеризующиеся высокой урожайностью и отличным качеством волокна.

Зерновые бобовые культуры являются важными продовольственными культурами Западного Пакистана. Под названием «зерновые бобовые» здесь существует около 20 различных видов, относящихся к шести родам бобовых культур: нут, различные виды фасоли: урд (маи), мунг, фасоль обыкновенная, тепари, аконитолистная, многоцветковая, лимская, адзуки, рисовая и некоторые другие; виндзорские бобы, вигна (коровий горох), канавалия, мукуна (бархатные бобы), долихос (гиацинтовые бобы), циамопсис, соя, горох. Ведущее место занимают нут и фасоль. Сорта нута 'Rv-1', 'Rv-7', 'S-12/34' и 'S-612' характеризуются скороспелостью, высоким качеством зерна и устойчивостью к болезням. К наиболее распространенным сортам фасоли относятся 'N-54', 'N-30'5, '4IM'.

Важную роль в сельскохозяйственном производстве страны играют горчицы, рапс, клещевина, сезам, лен, арахис, подсолнечник. Обособленно стоит табак, который за последние годы приобрел определенное значение в статье экспорта. По представителям всех видов масличных крестоцветных основная цель селекционной работы сводится к созданию сортов, отличающихся урожайностью, высоким содержанием масла в семенах, скороспелостью, устойчивостью к вредителям и болезням. Лен и клещевина – также важные культуры. Селекционная работа по ним сведена к отбору и размножению перспективных линий и сортов.

В Западном Пакистане популярны более 50 различных овощных культур. Производство овощей недостаточно для населения страны, особенно по таким культурам как морковь, томаты, зеленые овощи и шпинат. По распространенности и площадям посева первое место принадлежит арбузам и дыням. Дыни возделывают во всех зонах и почти на всех типах почв. Но урожайность недостаточна из-за низких доз удобрений и проблем с агротехникой. Вблизи г. Карачи встречаются дикие родичи дыни.

Участники экспедиции отметили, что Западный Пакистан – благоприятная зона для выращивания плодовых и цитрусовых культур. Северо-Западная провинция страны производит ранние сорта персика, сливы, груши, айвы, инжира, цитрусовых (апельсин, лаймы и померанцы), хурмы, земляники и других культур. Абрикосы, яблони, груши, грецкий орех выращивают в районах, расположенных выше над уровнем моря, чем зоны возделывания цитрусовых культур. В предгорьях Кветты и Калата сконцентрированы сады среднеспелых и позднеспелых сортов персиков, сливы, зимних сортов яблок, винограда, миндаля, фисташки, абрикоса, граната, мускатной дыни. Основное производство манго, мандаринов, апельсинов, грейпфрутов, лимонов, лаймов, зизифуса, гуаявы, финиковых пальм и нефелиумов[7] сосредоточено в провинции Пенджаб. Такие культуры, как манго, бананы, дынное дерево, мандарины, грейпфруты, гуаява, зизифус, анона, финиковая пальма и другие тропические культуры, широко распространены в провинции Синд. Побережье, где имеется достаточно пресной воды, занято кокосовыми пальмами. Цитрусовые культуры Западного Пакистана так же многообразны, как и в соседней Индии.

Члены экспедиции собрали и доставили 857 образцов различных сельскохозяйственных культур, в том числе пшеницу, рис, хлопчатник, зерновые бобовые, кукурузу и технические культуры.

Следующая экспедиция в Пакистан состоялась в 1978 году в составе руководителя Н. И. Корсакова, Г. Г. Давидяна, Г. А. Техановича и С. К. Курбангельдиева (Туркменский СХИ). Все исследования по сельскому хозяйству в Пакистане возглавляет комитет по научным исследованиям при министерстве сельского хозяйства. В каждой провинции есть головной НИИ сельского хозяйства с сетью опытных станций и опорных пунктов, который координирует работу других сельскохозяйственных НИИ, находящихся на территории провинции. Кроме того, в провинциях Синд и Пенджаб имеются НИИ риса, хлопчатника, сахарного тростника, кукурузы и просовидных культур, институты по использованию атомной энергии в сельском хозяйстве и биологии. В Пакистане имеется пять университетов, в каждом из которых ведутся исследования по сельскому хозяйству. Члены делегации посетили все сельскохозяйственные научно-исследовательские учреждения, ведущие университеты, основные опытные станции Пакистана.

[6] Латинские названия растений приводятся в авторской редакции экспедиционных отчетов.

[7] Или рамбутан (*Nephelium lappaceum* L.).

В экспедиционном отчете[8] подробно описаны сельскохозяйственные культуры Пакистана, приведена характеристика сортов. Основной продовольственной культурой страны является пшеница. Ее посевные площади превышают посевы риса, сорго, кукурузы и ячменя вместе взятых.

Три четверти площадей заняты высокопродуктивными сортами 'Chenab 70', 'Mexipak 65', 'Lyallpur 73', 'Sandal, Barani 70' и др. Основная работа по селекции пшеницы сосредоточена в Пенджабском НИИ сельского хозяйства.

Рис – вторая по значению продовольственная культура, которая имеет особое значение в земледелии Пакистана, так как может выращиваться на засоленных почвах. Основные посевы риса сосредоточены в дельте Инда. С началом «зеленой революции» урожайность риса постоянно возрастала благодаря внедрению в производство новых высокопродуктивных сортов 'IRRI-6', 'IRRI-8', 'Mehran-69', 'IRRI-Pak'. В год проведения экспедиции проводились испытания новых сортов, которые предполагалось районировать в 1979 году – 'IRRI-24', 'IRRI-579', 'IRRI-1561', 'IRRI-841'.

В программу по селекции кукурузы включено создание высокопродуктивных сортов, хорошо приспособленных для различных кукурузосеющих районов Пакистана, имеющих устойчивость к кукурузному мотыльку, сохраняющих зеленую окраску растения после созревания семян. Уже получены первые линии и гибриды, создан целый ряд перспективных синтетиков и композитов: Composit 551, BC-111, Soan и др.

Значительный раздел отчета посвящен подробному описанию зерновых бобовых культур. В этом отношении отчет экспедиции 1978 года очень важен с точки зрения знакомства с зернобобовыми культурами, которым, как правило, не придавали должного внимания другие экспедиционные отряды, обследовавшие Индостан и прилегающие регионы. Самой популярной зернобобовой культурой в Пакистане является нут. В 1970–1971 годах был составлен специальный правительственный проект по повышению производства нута и других бобовых культур за счет улучшения сортового состава и технологии их выращивания. Была поставлена задача создать высокоурожайные, раннеспелые, устойчивые к фузариозу, аскохитозу и к засухе сорта нута с белой и коричневой окраской семян, обладающих высоким содержанием белка в семенах и приспособленных для условий орошения и богары. В результате был создан целый ряд сортов, лучшими из них оказались: 'C 235', 'Pb 108', '150-4', 'CS2OL'. Выделены сорта, устойчивые против фузариоза и аскохитоза: 'C 392', 'C 357', 'C 727', которые используются в селекции как источники устойчивости, а сорт 'C 727' нашел широкое распространение в производственных посевах. Представляют определенный интерес исследования ученых Пакистана и по корреляции между морфологическими признаками и семенной продуктивностью растений нута. В частности, выявлено, что урожайность семян определяется в первую очередь такими признаками, как продолжительность периода от всходов до цветения, число бобов на растении, вес 100 семян, высота и ветвистость растений.

Наряду с нутом широкое распространение в Пакистане получили маш (*Phaseolus aureus* Roxb.) и урд (*P. mungo* L.). Они представлены большим разнообразием местных и селекционных сортов и форм. Индийский субконтинент, безусловно, является первичным центром разнообразия маша. Возделывается маш на богаре и на поливе. Наиболее высокоурожайными сортами являются '№ 125' и '№ 59'. Урд очень требователен к высоким температурам и значительно более позднеспелый, чем маш. Он, несомненно, вошел в культуру на Индийском субконтиненте, так как здесь находится основное разнообразие близких к урду культурных видов фасоли и сосредоточены наиболее близкие к нему формы дикого вида фасоли *P. sublobatus* Roxb., которая, вероятно, является его прародителем.

Селекционная работа по улучшению существующих сортов урда была начата в Пакистане в 1937–1938 годах. Были собраны местные формы, интродуцированы сорта из сопредельных с Индией стран. Из них отобрали лучшие сорта и линии, которые превосходили другие сорта по урожайности семян. Наивысшая урожайность была получена по линиям № 48 и № 80, которые позже широко распространились среди фермеров. В последние годы все больше возделываются сорта '№ 931', '№ 734', '№ 654' и '№ 226'. Все они темносеменные, довольно позднеспелые, высокоурожайные.

Из других видов фасоли, распространенных в Пакистане, наибольший интерес представляют фасоль рисовая, аконитолистная и трехлопастная.

Фасоль рисовая (*P. calcaratus* Roxb.), несомненно, введена в культуру на Индийском субконтиненте. Это зимняя культура предгорных долин и гор. Зерно используется для пищевых и кормовых целей. Солома является ценным грубым кормом для мелкого и крупного рогатого скота, для верблюдов и лошадей; зеленая масса находит широкое применение как удобрение в плодовых садах.

Фасоль аконитолистная (*P. aconitifolius* Jacq.), или мотт, высевается обычно на самых бедных песчаных почвах, где культивируется без орошения, чаще в смешанных посевах с просом и метельчатым просом. Основными районами фасоли аконитолистной являются Пешавар, Дерисмаилхан и сопредельные районы севера и северо-запада страны. Зерно фасоли аконитолистной используется в пищу и как источник белка при откорме животных. Солома идет также на корм рабочего скота (лошадей, мулов, верблюдов).

Фасоль трехлопастная (*P. trilobus* Aiton) – многолетнее стелющееся растение с толстым деревянистым стержневым корнем и многочисленными стелющимися ветвями. Этот вид фасоли очень близок к фасоли аконитолистной, отличается от последней формой прицветников, более мелкими листьями, бобами и семенами. Хотя трехлопастная фасоль и многолетник, но выращивают ее как однолетнюю культуру. Как культурное кормовое растение она существует в Пакистане и Индии сравнительно недавно. Длительное время трехлопастная фасоль сопутствовала как сорняк крупносемянному виду фасоли *P. aconitifolius*.

Большую популярность среди пакистанского населения за последние годы приобрел горох. Горох используют преимущественно как овощную культуру в виде зеленых бобов, зеленых и зрелых семян. Возделываются в основном интродуцированные сорта: 'Alaska', 'Perfection', 'Green admiral', 'White Canada' и некоторые другие. Селекционная работа с горохом в Пакистане ограничивается оценкой и отбором интродуцированных

[8] Архив отдела интродукции ВИР. Отчет советской научной сельскохозяйственной делегации о поездке в Пакистан. 5 Пакистан 1978 (831). 120 с.

сортов. Чечевица не менее популярна среди пакистанцев, чем горох. В настоящее время лучшими сортами чечевицы, созданными массовым и индивидуальным отбором из местных стародавних сортов, являются 'W 18-10', 'W 18-12' и 'W 25'.

Вигна, мукуна, долихос в основном используются на кормовые цели и как сидеральные культуры. Бобы циамопсиса и незрелые семена бархатных бобов, как и большинство видов фасоли, часто используются как овощи. Семена вигны с древнейших времен используются в Пакистане в зрелом виде. Виндзорские бобы высеваются преимущественно как покровная культура в междурядьях насаждений финиковых пальм; используются зеленые бобы, зеленые и зрелые семена.

Члены делегации отметили, что овощные и бахчевые культуры очень популярны в Пакистане. В летний период выращивают перец, томаты, фасоль, окру, кабачки, арбуз, дыню и тыкву. В зимний – чеснок, лук, репу, редис, редьку, цветную и белокочанную капусту, зеленый горошек.

Наибольшей популярностью пользуется перец острый, особенно местные сорта. В результате естественного переопыления зарубежных сортов сформировались местные сортотипы, различающиеся по величине и мощности растений, форме и размеру плодов, листьев и другим морфологическим признакам. Научно-исследовательская работа с перцем проводится в основном сотрудниками Фейсалабадского НИИ сельского хозяйства. По итогам четырехлетнего изучения восьми сортов перца наибольшей урожайностью выделились сорта 'Faisalabad III' (93 ц/га) и 'Faisalabad I' (90 ц/га).

Лук – одна из древнейших овощных культур Пакистана. На его территории произрастает дикие виды лука: *Allium ascalonicum* L., *A. atropurpureum* Waldst et Kit., *A. rubellum* M. Bieb., *A. choenoprasum* L., *A. stocksianum* Boiss. Пакистан экспортирует лук в Шри-Ланку, в страны Персидского залива, в ФРГ, в Канаду и в Малайзию. Производство лука в Пакистане сосредоточено преимущественно в двух провинциях: Пенджабе и Синде. Наиболее распространенными сортотипами лука являются White Globe (в горных районах), Brown Globe (в индийской пойме), Redball (очень скороспелый, для равнинных и горных районов).

В отчете также очень подробно описаны бахчевые культуры. Арбузы выращивают в провинции Пенджаб, несколько меньше в провинциях Синд и Белуджистан. Из местных форм популярны три группы сортов: Машади, Сиах и Пейтидар. Основными районами их распространения являются предгорья Кветты и Калата. Плоды Машади средней величины, округлые, кора светло-зеленая, тонкая, но прочная. Мякоть розовая, зернистая, сладкая. Семена от коричневых до темно-коричневых. Сиах – плоды среднего размера, кора темно-зеленая, толстая, прочная, мякоть красная, нежная, семена черные. Пейтидар – плоды округлые, средней величины, кора светло зеленая с темно-зелеными полосами, мякоть красная, нежная, семена от темно-коричневых до черных. Площади местных сортов за последние годы значительно сократились. Их вытесняют более урожайные и лучшие по вкусовым качествам сорта американской селекции 'Early Canada', 'Dixie Queen', 'Klondike R7', 'Sugar baby' и др. Отдел овощеводства Файсалабадского НИИ сельского хозяйства с целью создания сортов арбуза, устойчивых к болезням и засушливым условиям, провел серию межвидовых скрещиваний между культурными сортами 'Sugar baby', 'Charleston Gray', 'Grimson Sweet' и дикорастущим видом *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad.

Дыня. Некоторые типы дыни зародились, очевидно, на Индийском субконтиненте. Такие формы, как *Cucumis prophetarum* L. и *C. trigonus* Roxb., можно встретить в районах Качи и Ласбела. Дыня возделывается в Пакистане во всех зонах. Выращивают как местные, так и интродуцированные сорта дыни. Наибольшей популярностью пользуются местные сорта 'Чумиари', 'Лакноу', 'Калачи', 'Тахереми'. Они интересны как формы, обладающие жаростойкостью, солеустойчивостью, устойчивостью против болезней и хорошими вкусовыми качествами.

Кроме того, имеются формы дыни, относящиеся к сортотипу Хурбура, возникшие в результате переопыления местных сортов с завезенными американскими и европейскими сортами. У этого сортотипа плоды шаровидные или овальные, с желтоватой окраской коры и зеленоватыми полосами. Мякоть оранжевая, нежная, сладкая. Лучшими районами для производства высококачественных дынь являются Кветта, Калат и Парачинар, где лето более теплое и сухое. В основном для посева используют сортотип Гарма раннего созревания, с плодами, обладающими нежной, сочной мякотью. Другой сортотип, Сарда (Зард), представлен зимними дынями с твердой корой и хрустящей мякотью. Большое количество дынь завезено в Пакистан из Афганистана – Кандахара, Мазаршорифа и Кабула; они являются лучшими по качеству в сравнении с местными. Особенно выделяется сорт из Мазаршорифа, который, как считают, является наилучшим по вкусовым качествам и высоко ценится на рынках. Окраска фона его коры светло-желтая с зеленоватым оттенком и прерывистыми оранжевыми полосами, мякоть нежная, кремовая.

По сравнению с арбузами и дынями тыква менее распространена в стране и занимает незначительные площади. В Пакистане больше всего выращивают сорта, относящиеся к видам *Cucurbita maxima* Duchesne и *C. pepo* L. Основными являются сорта тыквы американской селекции 'King of Mammoth', 'Butternut' и др. Местные формы тыквы члены экспедиции не встречали.

Члены делегации подчеркнули, что из технических культур наиболее важное значение имеет хлопчатник. Пакистан является одной из основных хлопкосеющих стран мира, полностью обеспечивает себя хлопком и экспортирует его. Главной хлопкосеющей провинцией является Пенджаб (70% посевов). В Пакистане популярны в основном средневолокнистые сорта вида *Gossypium hirsutum* L. американской и пакистанской селекции и частично местные сорта *G. arboreum* L., которые сильно отличаются друг от друга не только по качеству волокна, но и по урожайности. Всего существует девять сортов *G. hirsutum* и три сорта *G. arboreum*. Самый распространенный сорт – 'AC-134', который занимает 50% площадей. С целью улучшения ассортимента возделываемых сортов в 1970 году был организован НИИ хлопчатника в Мултане, а в 1975 – в Сакранде. В Мултанском институте проводятся работы по межвидовой гибридизации с целью передачи признака устойчивости к болезням и вредителям и к засухе от диких видов к культурным сортам. Для этих целей изучаются 30 диких видов хлопчатника, а 20 из них уже включены в программу скрещиваний, и получены диплоиды, триплоиды, аллополипло-

иды, гексаплоиды и октаплоиды, которые скрещиваются с культурными формами и находятся в стадии изучения. Из культурных видов используют *G. tomentosum* Nutt. ex Seem., *G. anomalum* Wawra & Peyr., *G. sturtianum* (R. Br.) J. H. Willis, *G. australe* F. Muell., *G. armourianum* Kearney, *G. davidsonii* Kellogg и др. Наряду с изучением общего состояния хлопководства делегация занималась сбором семян культурных и диких форм хлопчатника со всех провинций Пакистана, за исключением Белуджистана, куда въезд не был разрешен. За период поездки делегацией было собрано 104 образца хлопчатника, относящихся к девяти видам.

Рапс и горчица – традиционные для страны культуры. До 1965 года возделывались стародавние сорта, относящиеся к видам *Brassica campestris* L. и *B. napus* L. Основная задача селекции по рапсу – создать высокоурожайные, скороспелые, жаростойкие сорта, не содержащие эруковую кислоту, устойчивые к тле, семяеду и белой ржавчине, с содержанием масла до 45%.

Пакистан занимает второе место в мире по урожайности арахиса, но необходимо создать сорта с высокой устойчивостью к фузариозу и церкоспорозу. Выращивают сорта '№ 45', '№ 334' и 'Bani'. Это кустовые формы, приспособленные к механизированной уборке, созданные из местных сортов путем массового отбора. Кунжут – традиционная масличная культура Пакистана. Распространены местные сорта сортотипа тил (черносемянные) и привозные белосемянные сорта. Подсолнечник – относительно новая масличная культура. В год получают обычно два урожая подсолнечника и сои с одного поля. Подсолнечник по сравнению с другими культурами может давать наибольшее количество масла с единицы площади. Возделывают советские сорта 'Передовик', 'Армавирец', 'ВНИИМК 8937' и американский сорт 'H.0.1'. Главной проблемой селекции для всех масличных культур является повышение содержания масла в семенах.

Среди плодовых культур наибольшие площади занимают манго, бананы и цитрусовые. Ассортимент цитрусовых культур довольно разнообразен. Главным районом производства цитрусовых культур является провинция Пенджаб, где выращиваются стародавние местные сорта апельсина 'Jaffa', 'Mosambi', 'Tarnab special'. Основными сортами лимона являются 'Lisbon', 'Seedless', 'Eureka', 'Lemon'. Основная научно-исследовательская работа по цитрусовым культурам направлена на испытание новых интродуцированных сортов; выявление оптимальных доз удобрений для повышения урожая, разработку методов борьбы с болезнями и вредителями.

Основные районы возделывания яблони – предгорные и горные районы Северо-Западной пограничной провинции и северной части провинции Белуджистан (Пулу, Кветта, Калат, Мурри, Мардан и др.), где наиболее благоприятные условия для этой культуры. В районах Кветта и Калата сформировались лучшие сорта яблок: 'Shaker Said', 'Shaker Rara', 'Red garma', 'King of Pippins', 'Kandhari'.

Косточковые плодовые культуры (абрикос, персик, слива) занимают незначительные площади в районах Кветты, Калата, Свата, Мурри.

Абрикос – одна из древнейших культур в стране, которая, как полагают, была завезена из Ирана и Афганистана. Наибольшее распространение получили раннеспелые, с хорошими вкусовыми качествами, довольно урожайные местные сорта 'Charmaghre early', 'Crosabricotvalla', 'Early Moorpark'.

В результате экспедиции в Пакистан делегацией были собраны 1203 образца, в том числе 332 – зерновых, 366 – крупяных, 50 – зернобобовых, 155 – овощных, 264 – технических культур и черенки 12 местных сортов яблони, абрикоса, персика, сливы.

Бутан. Экспедиция ВИР в составе Г. Е. Шмараева (руководитель) и В. П. Денисова в 1989 году обследовала четыре провинции королевства Бутан: Тхимпху, Уван Фодранг, Паро и Ха (рис. 3). Участники экспедиции посетили министерство сельского хозяйства; опытную станцию по плодовым культурам в провинции Тхимпху; опытную станцию по селекции картофеля в Тхимпху; Центр по развитию сельского хозяйства и научным исследованиям (CARD) в провинции Увангди-Фодранг, две опытные станции по семеноводству и лабораторию клеточной инженерии в провинции Увангди-Фодранг, а также ряд мелких семеноводческих хозяйств. Члены делегации обратили внимание, что все лаборатории оснащены новейшим оборудованием и счетно-вычислительной техникой из Японии, США и Индии.

В отчете[9] отмечено, что основными зерновыми культурами являются рис, кукуруза, пшеница, гречиха и просо.

Рис в Бутане возделывается преимущественно на орошаемых землях или участках с ограниченным орошением. С 1979 г. Международный институт риса (IRRI) начал проводить испытания селекционного материала в питомнике оценки устойчивости образцов риса к повышенной кислотности и засоленности почв (IRSATON). В результате выделены кислото- и солеустойчивые сорта: 'Getu', 'CSR1', 'CSR2', 'CSR3', 'Pokkali', 'IR11418-19-3'.

В 1982 г. в Бутане был организован Центр по развитию сельского хозяйства и научным исследованиям (CARD), где основное внимание уделяется селекции риса и проблемам, связанным с производством риса в стране (агротехника, севообороты и др.). Кроме того, Центр ведет разработки также и по другим культурам (бобовым, масличным, овощным, зерновым), по подбору перспективных культур в севооборотах. Научное руководство всей экспериментальной работой по рису осуществляется персоналом Международного института риса, который составил специальную программу «Bhutan Rice Farming Systems Project». Этой программой предусмотрено не только увеличение производства риса, но с 1986 года и увеличение производства пшеницы. Членами экспедиции в результате посещения питомников было отобрано и привлечено в коллекцию ВИР более 160 ценных образцов риса, в том числе 15 местных сортов из различных провинций Бутана; 55 генетических источников ценных признаков; 12 раннеспелых сортов. В экспедиционном отчете подробно описаны агротехника, используемые сорта, болезни и вредители риса.

Кукурузу сеют во всех регионах по вертикальной зональности на верхних, средних и нижних террасах. Наибольшее распространение получили местные сорта кукурузы с самой разнообразной окраской зерна, формой и величиной початка. Однако в последние годы усилиями Международного центра улучшения кукурузы и пшеницы (CIMMYT) в фермерские хозяйства внедряются гибриды, синтетики и коммерческие сорта. Наиболее популярны индийский гибрид X4I0, синтетик NLD и сорт 'Vijay'.

[9] Архив отдела интродукции ВИР. Отчет об экспедиции в Королевство Бутан. 5 Бутан 1989 (1462). 36 с.

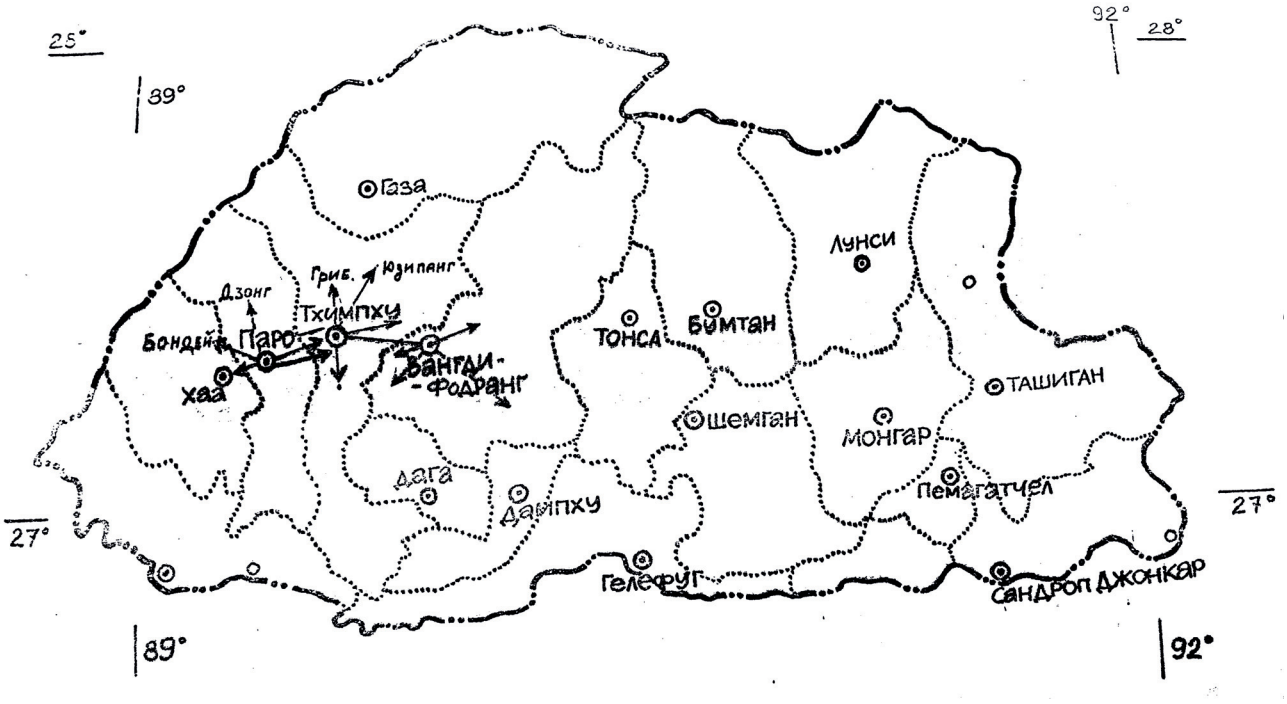


Рис. 3 **Маршрут экспедиции Г. Е. Шмараева по Бутану в 1989 г. (отчет об экспедиции в Королевство Бутан, с. 8)**
Fig. 3. **Route of the expedition by G.E. Shmarayev in Bhutan (Report on the expedition to the Kingdom of Bhutan, p. 8)**

Пшеница является основным хлебным злаком местного населения Бутана. Однако ограниченность земельных площадей вынуждает правительство импортировать зерно пшеницы из Индии и других стран. Основным и единственным сортом пшеницы является 'Sonalikha'. В последние годы CIMMYT пытается внедрить в фермерские хозяйства сорта пшеницы Мексики, США и Индии, однако они сильно поражаются болезнями.

Особое внимание члены экспедиции обратили на крупяные культуры, прежде всего на гречиху, так как горные районы Тибета, Бутана и Непала – Гималаи – являются центром происхождения и формообразования этой культуры. Посевы ее распространены во всех зонах различных провинций. Население Бутана выращивает местные горькие и сладкие сорта гречихи. Из просовидных культур высевают преимущественно местные сорта чумизы, могара и дагуссы.

Из зерновых бобовых культур в Бутане практически во всех зонах по вертикали распространены горох, фасоль, соя, голубиный горох и французские бобы. Посевные площади под этими культурами ограниченны. Крестьяне предпочитают местные аборигенные стародавние сорта. Однако в последние годы прослеживается тенденция замены местных стародавних форм селекционными коммерческими сортами гороха типа 'Фрилла', 'Мира', 'Рондо', 'Бонневилле'; французских бобов – 'Bajo Borlotte'; сои – 'Brag' и 'Ankur'; голубиного гороха (архар) – 'T 21', 'Al 15'.

Из масличных культур наибольшее распространение получили горчица, подсолнечник и арахис. Местное население потребляет мало мяса и животных жиров. Зато все национальные блюда приготавливаются на растительном масле, в особенности на горчичном. Возделывают местные формы, а также ряд коммерческих сортов типа 'Варуна', 'M-27', 'T-9' на всех высотах, но в большинстве на средних и нижних террасах.

Из овощных культур широкое распространение получили лук репчатый, капуста (кочанная и цветная), томаты, перец горький, огурцы, редис и зеленные растения. Лук репчатый наиболее популярен среди местного населения. Выращивают сорта 'Red Globe', 'Pusa Red' и различные местные формы с красной, фиолетовой и белой окраской луковиц. Огурцы хотя и не имеют большого значения, но выращиваются почти во всех крестьянских хозяйствах и представлены двумя местными формами: местный длинный (зеленец) и местный белый.

Перец горький растет повсеместно в крестьянских хозяйствах. Распространены два типа перцев: местный крупностручковый и местный мелкостручковый – 'Sha local', 'Bajo local'.

В отчете очень подробно описаны плодовые культуры. В Бутане резко выражена вертикальная зональность выращивания различных плодовых культур. Нижние террасы обычно заняты цитрусовыми и субтропическими культурами; средние и верхние – семечковыми, косточковыми и грецким орехом.

Для яблони предпочтительны верхние террасы на высоте от 2000 до 3000 м над уровнем моря. Популярные сорта – 'Golden delicious', 'Red delicious', 'Royal delicious', 'Jonathan', 'Amry', 'Pure Red', 'Red Gold', 'Beauty'. Также выращивают грушу – сорта 'Williams', 'Eartlet', 'Conference', 'Starking', 'Delicious'; сливу – сорта 'Sweet early', 'Starking Delicious', 'Santa rose'; абрикос – сорта 'Shaker Para', 'Charmaghze'; грецкий орех – сорта 'Gowind', 'Teen Shield'.

На террасах от 1000 до 2500 м над уровнем моря располагаются посадки сортов персика: 'World's Earliest', 'Early white giant'; слива: 'Beauty', 'Santa Rose'; абрикос: 'Early Shipley', 'New Castle', 'Kayisi'.

На террасах до 1000 м выращивается груша 'Гула Нак', 'Расар', 'Нек', в долинах рек – слива: 'Тетрон', 'Алюча'. В междурядьях садов в качестве сидератов высевают бобовые культуры. В Бутане возделываются цитру-

совые: *Citrus reticulata* Blanco, *C. aurantiifolia* (Christm.) Swingle, C. *medica* L. и др. Условия для роста цитрусовых в Бутане лучше, чем в Индии, благодаря климатическим условиям. В экспедиционном отчете представлено описание основных подвоев цитрусовых культур для различных провинций Бутана. Лайм и лимон распространены на высоте около 900 м над уровнем моря. Лучшими сортами лайма являются 'Kagzi', 'Assam', лимона – 'Gulgal' ('Bimira'). Личи – субтропическое плодовое растение, культивируемое на высоте около 1500 м над уровнем моря. Распространены сорта 'Seedless', 'China', 'Muzaffarput', 'Early seedless', 'Late seedless', 'Rose'. Манго выращивается на высоте 1200 м над уровнем моря. Лучшими сортами являются 'Langra', 'Dachari', 'Chausa'. Манговые насаждения уплотняют также папайей, бананами, земляным орехом и некоторыми бобовыми растениями.

В результате экспедиции собрано и доставлено в коллекцию около 500 новых образцов из 60 родов и видов культурных растений и диких родичей, в том числе зерновые, зернобобовые, масличные, технические, овощные культуры, а также черенки ценных сортов плодовых культур (яблони, груши, персика, сливы) и винограда. Особый интерес представляют собранный вид гималайской земляники, а также дикорастущие образцы ореха грецкого и местные стародавние сорта персика.

Выписка образцов. Институт помимо непосредственного сбора постоянно занимался выпиской образцов. Поступлений из Бутана как в довоенный период, так и с 1946 по 2019 годы не было. Из Пакистана поступило 338 образцов. В основном это были образцы зернобобовых культур и генетического материала пшеницы, переданные через Министерство сельского хозяйства СССР и от министра сельского хозяйства СССР И. А. Бенедиктова. Шесть образцов гуара поступили из Москвы от «Главникелькобальт». Из Бангладеш коллекция института пополнилась всего 28 образцами: это четыре образца риса через ВНИИ фитопатологии, семь образцов пшеницы от аспиранта ТСХА и непосредственно присланные в институт 16 образцов картофеля.

Заключение. Проанализировав все экспедиционные отчеты, можно констатировать, что проблемы при сборе образцов существовали. Либо экспедиция проходила в период года, неблагоприятный для сбора растительных ресурсов, либо не было разрешения на въезд в наиболее интересные регионы.

Тем не менее в результате экспедиционной деятельности по Бангладеш, Пакистану и Бутану было собрано и доставлено в институт 2911 образцов. Наибольшее количество образцов было привлечено по крупяным культурам – 885; по техническим – 554, по овощным – 517 и 463 образца – по зерновым культурам (в основном пшенице). Лидирует рис – 562 образца. Остальные крупяные культуры представлены в равных долях кукурузой и сорго, а также незначительным количеством просяных. Следует отметить, что из 463 образцов пшеницы и ячменя из Пакистана были привезены более 200 местных образцов. Если сравнивать с довоенным обследованием Пакистана В. В. Марковичем, то основные его сборы пришлись на пшеницу (около 300 образцов), ячмень, бобовые и бахчевые культуры (арбуз, дыню, огурец, тыкву и др.). В семидесятые годы также преобладает пшеница, много бахчевых культур, но значительно возросло число образцов хлопчатника, сорго, кукурузы. При этом многие образцы – это уже современные селекционные сорта и линии, происходящие из Индии, Филиппин, Мексики и других стран. Однако из данного региона по-прежнему привлечено много местных образцов, дикорастущих видов и родичей культурных растений. Общее количество мобилизованных образцов – 3277, представленных 130 видами.

Материал подготовлен в рамках мероприятия «Обеспечение сохранения коллекции генетических ресурсов растений» подпрограммы «Научно-техническое обеспечение развития отраслей агропромышленного комплекса» Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы.

References/Литература

Dorofeev V.F., Korsakov N.I. Crop industry in Western Pakistan (Report on the trip of VIR staff V.F. Dorofeev and N.I. Korsakov to Western Pakistan from December 24, 1970 to February 5, 1971) (Rasteniyevodstvo Zapadnogo Pakistana [Otchet o poyezdke sotrudnikov VIR V. F. Dorofeeva i N. I. Korsakova v Zapadnyy Pakistan s 24 dekabrya 1970 g. po 5 fevralya 1971 g.]). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Pakistan 1971 (495); 1971. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Корсаков Н.И. Растениеводство Западного Пакистана (Отчет о поездке сотрудников ВИР В. Ф. Дорофеева и Н. И. Корсакова в Западный Пакистан с 24 декабря 1970 г. по 5 февраля 1971 г.). Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Пакистан 1971 (495); 1971).

Dorofeev V.F., Yadrov A.A., Kovalenko E.D. A full report on the results of the business trip of Soviet scientists abroad through international scientific and technical relations (Polnyy otchet o rezultatakh komandirovaniya sovyetskikh uchenykh za granitsu po linii mezhdunarodnykh nauchno-tekhnicheskikh svyazey). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Bangladesh 1979 (841); 1979. [in Russian] (Дорофеев В.Ф., Ядров А.А., Коваленко Е.Д. Полный отчет о результатах командирования советских ученых за границу по линии международных научно-технических связей. Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Бангладеш 1979 (841); 1979).

Korsakov N.I., Davidian G.G., Kurbangeldyev S.K., Tekhanovich G.A. Report of the Soviet scientific agricultural delegation on a trip to Pakistan (Otchet sovetskoy nauchnoy selskokhozyaystvennoy delegatsii o poyezdke v Pakistan). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry.Report number: 5 Pakistan 1978 (831); 1978. [in Russian] (Корсаков Н.И., Давидьян Г.Г., Курбангельдыев С.К., Теханович Г.А. Отчет советской научной сельскохозяйственной делегации о поездке в Пакистан. Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Пакистан 1978 (831); 1978).

Loskutova N.P., Ozerskaya T.M. Mobilization of plant genetic resources from the territory of India. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(4):191-205. [in Russian] (Лоскутова Н.П., Озерская Т.М. Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Индии. *Труды по прикладной*

ботанике, генетике и селекции. 2018;179(4):191-205. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-4-191-205

Shmaraev G.E., Denisov V.P. Kingdom of Bhutan Expedition Report (Otchet ob ekspeditsii v Korolevstvo Butan). N.I. Vavilov All-Union Research Institute of Plant Industry. Report number: 5 Bhutan 1989 (1462); 1989. [in Russian] (Шмараев Г.Е., Денисов В.П. Отчет об экспедиции в Королевство Бутан. Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова. Номер отчета: 5 Бутан 1989 (1462); 1989).

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

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

Для цитирования/How to cite this article

Лоскутова Н.П., Озерская Т.М. Мобилизация генетических ресурсов растений с территории Бангладеш, Пакистана и Бутана. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1): 128-138. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-128-138

Loskutova N.P., Ozerskaya T.M. Mobilization of plant genetic resources from Bangladesh, Pakistan and Bhutan. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):128-138. DOI:10.30901/2227-8834-2020-1-128-138

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/10.30901/2227-8834-2020-1-128-138

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
Loskutova N.P. https://orcid.org/0000-0002-2869-1259
Ozerskaya T.M. https://orcid.org/0000-0002-5831-506X

Полярная опытная станция ВИР – северный форпост исследований картофеля

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-139-145
CC BY
УДК 908
Поступление/Received: 29.01.2020
Принято/Accepted: 11.03.2020

Polar Experiment Station of VIR: the northernmost outpost of potato research

С. Н. ТРАВИНА

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Полярная опытная станция – филиал ВИР, 184209 Россия, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Козлова, 2
swetusic@mail.ru

S. N. TRAVINA

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Polar Experiment Station of VIR, 2 Kozlova St., Apatity, Murmansk Province 184209, Russia
swetusic@mail.ru

Становление и развитие картофелеводства на Кольском Севере тесно связано с Полярной опытной станцией ВИР. Приведены данные по созданию на основе исходного материала (образцов коллекции ВИР) раннеспелых и урожайных сортов: 'Имандра', 'Сестра Имандры', 'Мурманский', 'Снежинка № 3', 'Хибины', 'Хибинский двуурожайный', 'Хибинский ранний' и др. Над получением уникальных раннеспелых сортов картофеля в разное время на станции работали выдающиеся селекционеры – ученые: И. Г. Эйхфельд, М. Н. Веселовская и И. А. Веселовский, Ф. И. Маньков, М. А. Вавилова, Н. Н. Иванова, Л. А. Дремлюг, А. М. Козелецкая, С. А. Аникина, Г. Д. Мельничук и др. Все эти сорта находятся в коллекции генетических ресурсов ВИР. Часть сортов, созданных с 1937 по 1968 г., используется в производстве в Мурманской области до сих пор. Каждый год сортовое и видовое разнообразие картофеля высаживается в полевых условиях Арктического Севера. Обширный материал коллекции и сегодня дает возможность изучения влияния факторов внешней среды, выделения источников по раннеспелости, продуктивности, ведения селекционной работы по созданию раннеспелых сортов.

Ключевые слова: селекция, сорт, экстремальные условия среды, Крайний Север, развитие картофелеводства.

The establishment and progress of potato cultivation in the Kola Peninsula are closely associated with the Polar Experiment Station of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). The data are presented on the development of early-ripening and high-yielding potato cultivars based on the source material from the VIR collection: 'Imandra', 'Sestra Imandry', 'Murmansky', 'Snezhinka No. 3', 'Khibinsky ranny', etc. Prominent breeders and scientists, who worked at different times at the Polar Station, contributed to the release of unique early-ripening potato cultivars: J. H. Eichfeld, M. N. Veselovskaya, I. A. Veselovsky, F. I. Manykov, M. A. Vavilova, N. N. Ivanova, L. A. Dremlyug, A. M. Kozeletskaya, S. A. Anikina, G. D. Melnichuk, etc. Some of the cultivars developed from 1937 to 1968 are still used in large-scale potato production in Murmansk Province. Every year the cultivar and species diversity of potatoes is planted in the fields of the Arctic North. Today, the extensive material from the potato collection makes it possible to study the impact of environmental factors, identify sources of earliness and productivity, and conduct breeding activities aimed at the release of early cultivars.

Key words: breeding, cultivar, extreme environment, Arctic North, potato cultivation.

Работы по основанию Полярной опытной станции ВИР были начаты с 1921 г. Все исследования в области сельского хозяйства сначала проводились на сельскохозяйственном опорном пункте вблизи железнодорожной станции Хибины. Руководство над сельскохозяйственным опорным пунктом осуществлял в то время Государственный институт опытной агрономии. А в 1931 г. опорный пункт был преобразован в Полярное отделение Всесоюзного института растениеводства и передан под контроль ВИР.

Данное учреждение должно было решить проблему продовольственной безопасности региона – обеспечить быстро растущее население продуктами питания, которые невозможно было систематически поставлять по железной дороге. В первую очередь это были свежие молочные и овощные продукты, богатые витаминами, способные обеспечить «противоцинготную» профилактику организма человека и выступить помощниками для человека в покорении Севера.

На первом этапе формирования необходимо было подобрать сортимент сельскохозяйственных культур, способных произрастать и давать хорошие урожаи в условиях Заполярья.

Среди исследуемых сельскохозяйственных культур был и картофель – овощ, в клубне которого сбалансировано огромное количество питательных веществ: крахмал, клетчатка, пектиновые соединения, белки, минеральные вещества, витамины, в особенности С, и физиологически активные вещества (Andryushina, Budina, 1970).

Изучение и формирование коллекционных фондов генетических ресурсов картофеля началось практически сразу, со дня основания в 1923 году сельскохозяйственного опорного пункта «Хибины» (Eichfeld, 1933),

который был расположен в 1,5 км от ж/д станции Хибины, в 35 км от г. Хибиногорска. Экспериментальные полевые участки станции находились на берегу оз. Имандра, по обе стороны железнодорожного полотна, а также за озерным заливом – Губой Белой (рис. 1).

Годовой бюджет скромного опорного пункта с 1923 по 1930 г. составлял всего 300 рублей. А все агрономические мероприятия проводились вручную, механизация отсутствовала.

В 1923 г. сотрудниками маленького научного коллектива было испытано 32 образца картофеля; в 1924 г. – 42 сорта; 1927 г. – 88 сортов; 1932 г. – 500 образцов картофеля. В состав дублетной коллекции ВИР того времени входили в основном сорта, привезенные из Европы (Vavilova, 1973).

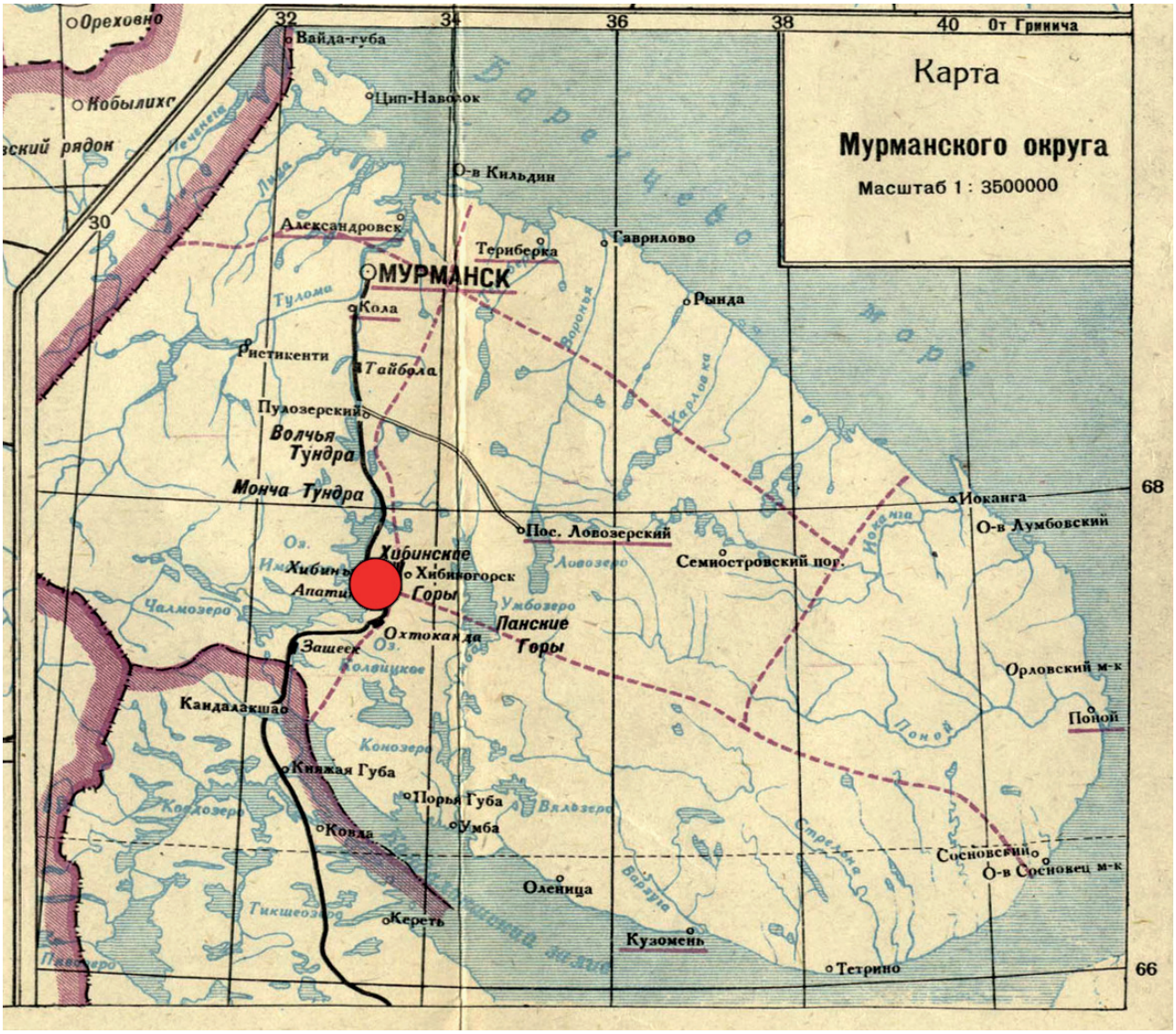


Рис. 1. Расположение Сельскохозяйственного опорного пункта «Хибины», 1931 г.
(http://kolamap.ru/img/1931.jpg)

Fig. 1. Location of the Agricultural Base Station in Khibiny, 1931
(http://kolamap.ru/img/1931.jpg)

Работы по исследованию сельскохозяйственных культур в Хибинах происходили в очень трудных условиях. В 1923–1925 годах на опытном пункте в штате состояло всего два постоянных научных сотрудника – тогда еще агроном, организатор и заведующий Хибинского сельскохозяйственного опытного пункта И. Г. Эйхфельд (впоследствии академик ВАСХНИЛ, 1935; академик АН Эстонской СССР, 1946; 1950–1958 – президент; член-корреспондент АН СССР, 1953; Герой Социалистического Труда, 1963) и М. М. Хренникова, окончившая Высшие женские сельскохозяйственные курсы имени И. А. Стебута (сегодня это Санкт-Петербургский государственный аграрный университет) (Life path..., 1968; Kameraz, 1968). Курировал и руководил исследовательскими работами по картофелю профессор В.Е. Писарев.

Из отчета И. Г. Эйхфельда: «Особенно поразительны были результаты с картофелем. Целый ряд скороспелых сортов картофеля с первых же лет начал давать высокие урожаи, и, что особенно замечательно, на картофеле не наблюдалось никаких болезней» (Eichfeld, 1933, p. 10).

Результаты исследований первых 5–6 лет работы дали возможность разработать агротехнику возделывания картофеля, в которой обязательным являлось условие проращивания посадочного материала и вне-

сение больших количеств органических удобрений, подбор и в дальнейшем выведение скороспелых сортов картофеля.

Экспериментальным путем учеными было показано, что наиболее адаптированными оказались образцы, взятые из схожих по климатическим характеристикам зон, или же те образцы, которые длительное время произрастали в подобных Кольскому Северу климатических условиях. К таковым, например, относятся сорта из Восточной Сибири: 'Шестинедельный', 'Азия', 'Снежинка 3', 'Epicure', 'Ранний розовый' (рис. 2).

Рис. 2. Клоны сортов картофеля: слева – 'Снежинка', справа – 'Имандра' (фото из архива Полярной опытной станции)

Fig. 2. Clones of potato cultivars: 'Snezhinka' (left) and 'Imandra' (right) (photo from the archive of the Polar Experiment Station)

Существенной преградой для получения высоких урожаев в суровых условиях Севера являлись низкие среднесуточные температуры воздуха в летний сезон, а также внезапное наступление заморозков в летне-осенний период (рис. 3).

Рис. 3. Уборка картофеля в условиях Арктического Севера в Хибинах, в поле – С. А. Аникина (фото из архива Полярной опытной станции)

Fig. 3. Harvesting potatoes in the environments of the Arctic North at Khibiny, with S. A. Anikina in the field (photo from the archive of the Polar Experiment Station)

В результате длительного воздействия низких среднесуточных температур воздуха вегетативная масса растений картофеля на большей части экспериментальных участков сильно повреждалась морозами.

Работы по выведению морозостойких сортов картофеля начались с 1931 г. Сначала ее вели М. Н. Веселовская и И. А. Веселовский, затем Л. А. Дремлюги Н. Н. Иванова, Ф. И. Маньков. Основным методом селекционной работы на этом этапе был отбор и выделение лучших сортов из мировой коллекции, собранной в ВИР. В результате отбора учеными в период 1936–1941 гг. из коллекции были выделены сорта: 'Paul Wagner' из Германии и 'Arran Pilot' из Великобритании, отличавшиеся высокой урожайностью и устойчивостью к раку картофеля.

Изучение исходного материала позволило классифицировать сорта и виды картофеля по степени убывающей холодостойкости. Экспериментальным путем было доказано, что самыми морозостойкими являются представители вида *Solanum acaule* Bitt., за ними по убывающей следуют виды: *S. demissum* Lindl., *S. curtilobum* Juz. et Buk., *S. andigenum* Juz. et Buk. Сильнее всех подвержен заморозкам *S. tuberosum* L., в пределах которого сильно повреждаются морозами ранние сорта, слабее – поздние группы (Veselovsky, 1933a, b).

Материал, полученный из экспедиций, организованных Н. И. Вавиловым в Южную Америку, дал возможность начать работы по межвидовой гибридизации (рис. 4). Исходным материалом стали виды картофеля, собранные советскими учеными в Южной Америке и имеющийся в коллекции сортимент. Среди вновь полученных видов картофеля оказались отличающиеся раннеспелостью, связанной с коротким периодом покоя клубней (*S. rybinii* Juz. et Buk., *S. boyacense* Juz. et Buk.), устойчивые к кратковременным заморозкам.

Рис. 4. Гибриды картофеля: 4/524 – [*S. acaule* × (*S. acaule* × *S. kesselbrenneri*)]; 63/104 – (*Epicure* × *S. curtilobum*) после воздействия заморозков до –6°С (фото из архива Полярной опытной станции)

Fig. 4. Potato hybrids: 4/524 – [*Solanum acaule* × (*S. acaule* × *S. kesselbrenneri*)]; 63/104 – (Epicure × *S. curtilobum*), after exposure to frosts down to –6°C (photo from the archive of the Polar Experiment Station)

С 1932 по 1936 г. работы по скрещиванию проводили И. А. Веселовский и М. Н. Веселовская; с 1939 по 1949 г. – Ф. И. Маньков; с 1937 по 1948 г. – Н. Н. Иванова; с 1949 по 1953 г. – Н. С. Грандилевская; с 1950 по 1968 г. – М. А. Вавилова; с 1970 по 1980 г. – А. М. Козелецкая; с 1980 по 1990 г. – Г. Д. Мельничук.

При применении межсортовой, межвидовой гибридизации и скрещивания форм, отдаленных по своему происхождению, И. А. Веселовским и М. Н. Веселовской были получены сорта: 'Умптек', 'Хибинка', 'Хибинская черничка', 'Марникве', 'Морошка', 'Монча', 'Лидалс', 'Полярник', 'Устьбез'. При скрещивании *S. tuberosum* с *S. andigenum* получен среднеранний сорт 'Имандра' и раннеспелый сорт 'Сестра Имандры'. От межсортового скрещивания получены скороспелые сорта 'Калитинец', 'Мурманский'.

Дальнейшую работу по улучшению сорта 'Мурманский' проводили Ф. И. Маньков и Н. Н. Иванова. Сорт 'Мурманский' был районирован в Архангельской, Мурманской областях, Коми и Карелии. Сорт 'Хибинская синеглазка' выведен Ф. И. Маньковым и Н. Н. Ивановой в 1945 г. от межвидового скрещивания сорта 'Имандра' с гибридом 75/26 [*S. acaule* × (Führstenkrone × Centifolia) × Führstenkrone].

Причем урожайность сортов 'Имандра', 'Мурманский', 'Pilot' ('Arran Pilot'), 'Хибинский ранний' и 'Хибинская синеглазка' в условиях Севера значительно превосходила урожайность ранних европейских сортов, популярных в то время: 'Epicure', 'Early Rose', 'Снежинка'. Также учеными были выведены сорта с коротким периодом покоя: 'Хибины 3', 'Хибинская скороспелка', 'Хибинский двуурожайный', которые получили широкое распространение не только в условиях Заполярья, но и в южных областях нашей страны. Там данные сорта могли формировать по два урожая за сезон. Благодаря работам ученых с Полярной станции, повсеместно в Мурманской области в производство были внедрены сорта: 'Мурманский', 'Pilot' ('Arran Pilot'), 'Хибинский ранний', 'Хибинская синеглазка'. Эти сорта были способны давать высокий урожай картофеля за 65–75 дней в условиях пониженных температур воздуха и почвы (Anikina et al., 1986). В дальнейшем до 98% засаживаемых площадей в посадках колхозов Кировского, Кандалакшского, Ловозерского, Мончегорского районов Мурманской области занимали сорта: 'Имандра', 'Снежинка № 3', 'Сестра Имандры', 'Paul Wagner', 'Arran Pilot', 'Вермонт', 'Мурманский'. А с 1955 г. в хозяйствах преобладали в посадках сорта: 'Имандра', 'Хибинский ранний', 'Хибинская синеглазка' (Krasheninnikov, Vavilova, 1957; Mankov et al., 1955).

Сорт 'Хибинский ранний' получен М. А. Вавиловой, Н. С. Грандилевской, Ф. И. Маньковым, Л. А. Гуральник от скрещивания в 1949 г. сорта 'Имандра' с сортом 'Эмпайр стэт' (Vavilova et. al., 1967).

Сорта 'Имандра', 'Хибинский Ранний', 'Сестра Имандры', 'Повировец' 'Хибины № 3', 'Хибинская скороспелка', 'Хибинская синеглазка' до сих пор входят в коллекцию станции, а сорта: 'Имандра', 'Повировец', 'Хибинский ранний' выращивают на Полярной опытной станции в производственных масштабах.

Сорт 'Имандра' получен в 1934 г. от скрещивания сорта 'Jubel' с видом *S. andigenum* var. *tokanum*. Сорт отличается хорошими вкусовыми качествами и имеет относительно высокое содержание крахмала. В 1943 г. сорт был широко распространен в Мурманской области; с 1950 г. районирован в Мурманской, Архангельской, Тюменской областях, а также в Коми, Хабаровске, Карелии.

В дальнейшем при скрещивании сортов Имандра × Приекульский ранний учеными Полярной опытной станции был получен раннеспелый сорт 'Повировец' – салатного типа и высокой пластичности. Данный сорт в 1970-х годах выделялся высоким урожаем и скороспелостью не только в условиях Мурманской области, но и в Красноярском, Алтайском краях, Магаданской, Камчатской области и Бурятии.

В 1975–1980 гг. сорт 'Повировец' был внедрен в производственные посадки совхозов и колхозов Мурманской области, а также районирован в Кокчетавской и Кустанайской областях в Казахстане (Kozeletskaya, 1975).

По раннеспелости в условиях Севера аналогов сорту 'Хибинский ранний' нет до сих пор. Этот сорт отличается ранним клубнеобразованием и высоким урожаем товарных клубней. На станции сорт 'Хибинский ранний' используется при изучении новых сортов как стандарт, а также принимает участие в селекционной работе в качестве опылителя (рис. 5).

Рис. 5. Уборка сорта картофеля 'Хибинский ранний', Полярная ОС ВИР, 2005 г.
(фото из архива Полярной опытной станции, автор: Ю. М. Козлова)

Fig. 5. Harvesting potatoes of cv. 'Khibinsky ranny', Polar Experiment Station of VIR, 2005
(photo from the archive of the Polar Experimental Station, author: Yu. M. Kozlova)

Большой вклад в развитие селекции картофеля на Кольском Севере, а значит и картофелеводства в целом, внесли: С. А. Аникина, А. М. Козелецкая, Е. М. Васильева, Г. Д. Мельничук, С. В. Абакшина (рис. 6).

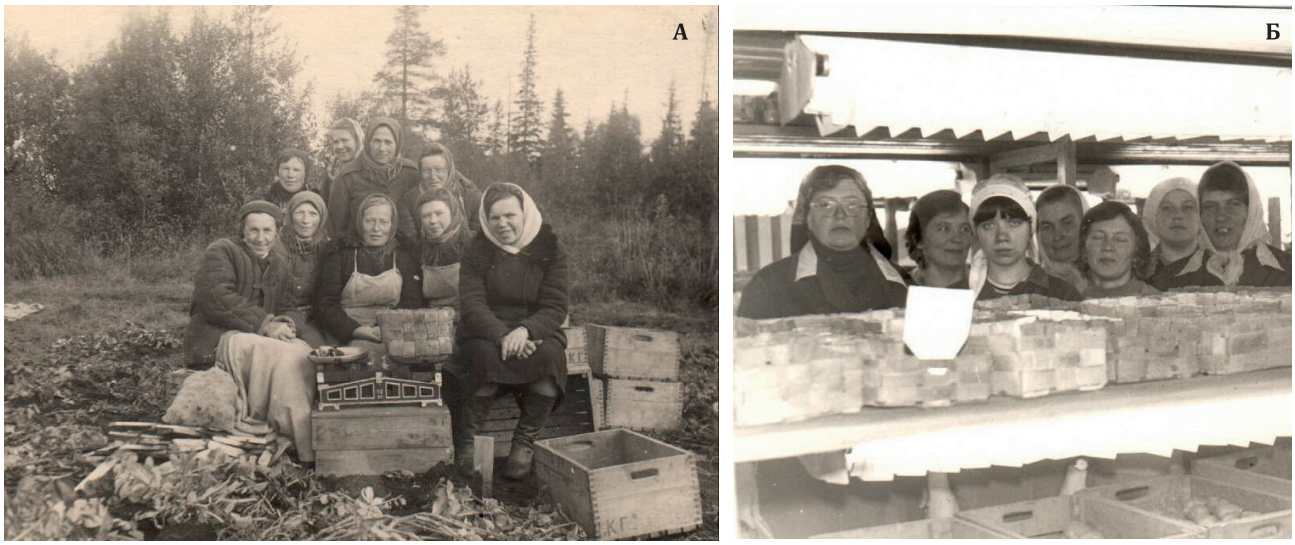


Рис. 6. Трудовой коллектив станции (**А** – сидят в поле: Грандилевская Н., Лапынина Е., Синцова Р., Белотелова А., Манькова М.; Морозова Е., Гомоляко Л., Безручко Н., Васильева М; **Б** – стоят в яровизаторе слева направо: Аникина С., Русинова Л., Сименцова Л., Козлова В., Михайлова А., Абакшина С., Козелецкая А.) (фото из архива Полярной опытной станции)

Fig. 6. The team of the Polar Station:
А – seated, left to right: N. Grandilevskaya, E. Lapynina, R. Sintsova, A. Belotelova, M. Mankova; standing, left to right: E. Morozova, L. Gomolyako, N. Bezruchko, M. Vasilyeva;
Б – standing, left to right: S. Anikina, L. Rusinova, L. Simentsova, V. Kozlova, A. Mikhailova, S. Abakshina, A. Kozeletskaya (photo from the archive of the Polar Experiment Station)

Ими создано более 300 межвидовых гибридов картофеля, обладающих высокой продуктивностью, раннеспелостью, устойчивостью к раку, устойчивостью к золотистой картофельной нематоде (патотип Ro) и хорошими вкусовыми качествами.

Результатом труда этих ученых стало создание более 10 сортов: ‘Умка’ (4/856), ‘Северный’ (3/7211), ‘Северянин’ (21/8516), ‘Юбиляр Посвира’ (25/861), ‘Брат 2’ (39/899), ‘Хибинский сувенир’ (42/8917), ‘Светланка Хибинская’ (15/886), ‘Катюша’ (15/881) и др. Все они представляют большой интерес не только для проведения дальнейших селекционных работ, но и для практического использования в регионе в целом, поскольку способны давать стабильные и высокие урожаи в экстремальных агрометеорологических условиях. С самого начала при возделывании картофеля на Севере учеными было отмечено здоровое состояние ботвы растений. Это было впоследствии подтверждено фитопатологом профессором А. А. Ячевским, приезжавшим на Полярную опытную станцию (Eichfeld, 1933).

Данное исключительное состояние картофельных посадок в Хибинах было связано с местными климатическими условиями, которые близки к климату горных районов Южной Америки, родины картофеля. Однако к 1947 г. на растениях картофеля были обнаружены вирусные болезни, но вредоносность их была намного ниже, чем в средней полосе и на юге, а срок жизни сортов оказался значительно дольше. Известно, что вирусные инфекции ухудшают семенные и продуктивные качества картофеля, но в условиях Севера инфекции остаются в латентной форме и могут визуально не проявляться.

В дальнейшем было принято решение сделать на Полярной опытной станции пункт поддержания всхожести дублетной мировой коллекции картофеля, так как условия Заполярья оказались наиболее пригодны для сохранения генофонда картофеля.

На протяжении 96 лет на станции ежегодно проводится большая работа по поддержанию и сохранению мирового генофонда картофеля, межсортовых и межвидовых гибридов.

Коллекция в количестве более 3000 образцов ежегодно высаживается на полях станции.

Не прекращаются работы и по созданию новых сортов картофеля. Так, в 2014 г. Т. Э. Жигадло и С. В. Абакшина проводили экспериментальные межсортовые скрещивания с использованием раннеспелых сортов из мировой коллекции картофеля ВИР. В качестве материнских форм использовали сорта ‘Повінь’, ‘Удача’, ‘Lady’ ‘Claire’, ‘Mars’. В качестве отцовских форм были использованы сорта ‘Дарёнка’, ‘Жуковский ранний’, ‘Суйдинский ранний’, ‘Хибинский ранний’, ‘Холмогорский’ и ‘Karatop’. Сорта ‘Дельфин’, ‘Изора’, ‘Каменский’, ‘Berber’, ‘Carina’ и ‘Latona’ были вовлечены в гибридизацию в качестве обеих родительских форм. Результатом скрещиваний стало получение 78 гибридов, по которым в настоящее время ведутся работы. (Kiru et. al., 2016; Zhigadlo, Travina, 2017; Zhigadlo, Travina, 2019).

В лаборатории картофеля каждый год изучается до 150 генотипов картофеля по основным биологическим и хозяйственно важным признакам (скороспелость, продуктивность, урожайность, устойчивость к низкотемпературным стрессам, патогенам и пр.).

За 96-летний путь в разные годы с коллекциями картофеля работали, помимо уже упомянутых, еще со-

трудники Л. А. Гуральник, С. А. Аникина, В. И. Костюк, Н. Н. Девяткина и лаборанты Г. А. Корытова, А. П. Андреева, С. Е. Денисюк, Н. В. Барабанова, Л. В. Лаптева. С. А. Аникина занималась поддержанием мировой коллекции картофеля (Anikina et. al., 1986). В. И. Костюк работал в области физиологии растений, проводил комплексное изучение экологических аспектов фотосинтеза и продуктивности картофеля в условиях Крайнего Севера, осуществлял поиски приемов управления продукционным процессом картофеля на уровне агроценоза, в котором учитывалось состояние фотосинтетического аппарата картофеля и особенности его взаимодействия с габитуальными параметрами растений и с факторами окружающей среды (Kostyuk, 1980; Kostyak et. al., 2013). Н. Н. Девяткина проводила изучение адаптивности сортов и гибридов картофеля в условиях Заполярья, а также занималась отбором исходного материала по критерию высокой продуктивности (Devyatkina et. al., 2004). Таким образом, за 96-летний период работы с коллекцией генетических ресурсов картофеля на Полярной опытной станции – филиале ВИР были получены раннеспелые высокоурожайные сорта, пригодные для возделывания в условиях Арктического Севера. Эти сорта до сих пор выращиваются в производственных масштабах в области, обеспечивая продовольственную безопасность региона. Наряду с селекционной работой на станции продолжается сохранение генетических ресурсов картофеля в вегетативном состоянии. Все образцы из коллекции могут быть вовлечены в дальнейшем в селекционные программы.

Заключение

Дублетная мировая коллекция генетических ресурсов ВИР выращивается в условиях Арктического Севера с 1923 г. Сегодня на Полярной опытной станции поддерживается около 3000 образцов. В состав коллекции входят интродуцированные стародавние сорта (например, 'Arran Pilot', 'Epicure', 'Early Rose'), сорта, полученные на станции ('Имандра', 'Хибинский ранний', 'Сестра Имандры' и др.), а также гибриды. Ежегодно проводится работа по изучению генетического разнообразия по таким признакам, как раннеспелость, продуктивность, урожайность, устойчивость к заморозкам и др. По результатам исследований на станции выделяют исходный материал, имеющий особое значение для селекции при создании раннеспелых сортов для Северо-Запада России.

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».

References/Литература

Andryushina N.A., Budina L.V. Potato. (Kartofel). N.S. Batsanov (ed.). Moscow: Kolos; 1970. [in Russian] (Андрюшина Н.А., Будина Л.В. Картофель / под ред. Н.С. Бацанова. Москва: Колос; 1970).

Anikina S.A., Vavilova M.A., Vasilyeva E.M., Kozeletskaya A.M. Potatoes in Murmansk Province (Kartofel v Murmanskoy oblasti). Murmansk; 1986. [in Russian] (Аникина С.А., Вавилова М.А., Васильева Е.М., Козелецкая А.М. Картофель в Мурманской области. Мурманск; 1986).

Devyatkina N.N., Kiru S.D., Vasilyeva E.M., Kuznetsova E.V. The study of potato varieties in the conditions of the Murmansk region. In: *Crop Production in the European North: Status and Prospects. Proceedings of the International School/Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Department of Agronomy and Soil Science, Petrozavodsk, November 24–26, 2004.* Petrozavodsk: Petrozavodsk State University; 2004. p.41-44. [in Russian] (Девяткина Н.Н., Киру С.Д., Васильева Е.М., Кузнецова Е.В. Изучение сортов картофеля в условиях Мурманской области. В кн: *Растениеводство на Европейском Севере: Состояние и перспективы. Материалы Международной школы-конференции, посвященной 50-летию кафедры агрономии и почвоведения, Петрозаводск; 24–26 ноября 2004 г.* Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет; 2004. С.41-44).

Eichfeld J.H. Struggle for the Far North. Brief results of the work of the VIR Polar Department in 1923–1933 (Borba za Krayniy Sever. Kratkiye itogi raboty Polyarnogo Otdeleniya VIR 1923–1933). Leningrad: VIR; 1933. [in Russian] (Эйхфельд И.Г. Борьба за Крайний Север. Краткие итоги работы Полярного Отделения ВИР 1923–1933. Ленинград: ВИР; 1933).

Kameraz A.Y. The global collection of potato beyond the Arctic Circle and its use in breeding (Mirovaya kollektsiya kartofelya za Polyarnym krugom i ee ispolzovaniye v selektsii). In: A.I. Pung et al. (eds). *On the way to the Earth's renewal: collection of articles dedicated to the 75th birthday of J.H. Eichfeld* (*Na puti k obnovleniyu zemli: sbornuk statey, posvyashchenny 75-letiyu I. G. Eykhfelda*). Tallinn: Valgus; 1968. p.86-107. [in Russian] (Камераз А.Я. Мировая коллекция картофеля за Полярным кругом и ее использование в селекции. В кн.: *На пути к обновлению земли: сборник статей, посвященный 75-летию И. Г. Эйхвельда* / под ред. А.И. Пунга и др. Таллин: Валгус; 1968. С.86-107).

Kiru S.D., Zhigadlo T.E., Novikova L.Y. Potential of productivity of early potato varieties from VIR collection under conditions of Murmansk region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016;30(10):27-31. [in Russian] (Киру С.Д., Жигадло Т.Э., Новикова Л.Ю. Потенциал продуктивности раннеспелых сортов картофеля из коллекции ВИР в условиях Мурманской области. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(10):27-31).

Kostyuk V.I. The accumulation of solar energy by potatoes in the conditions of the Kola Peninsula. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1980;67(2):66-72. [in Russian] (Костюк В.И. Аккумуляция солнечной энергии картофелем в условиях Кольского полуострова. *Труды по прикладной ботанике, генетики и селекции*. 1980;67(2):66-72).

Kostyuk V.I., Travina S.N., Vikhman M.I. The effect of solar activity, insolation, air temperature and atmospheric precipitation on crop productivity in the northern environments of the Kola Peninsula (Vliyaniye solnechnoy aktivnosti, insolyatsii, temperatury vozdukha i atmosfernykh osadkov na produktivnost kulturnylh rasteniy v usloviyakh Kolskogo Severa). Apatity: Kola Science Center of the RAS; 2013. [in Russian] (Костюк В.И., Травина С.Н., Вихман М.И. Влияние солнечной активности, инсоляции, температуры

воздуха и атмосферных осадков на продуктивность культурных растений в условиях Кольского Севера. Апатиты: Кольский научный центр РАН; 2013).

Kozeletskaya S.A. Growing potatoes of cv. Povirovets in the Arctic. Information leaflet No. 48-75 (Vyrashchivaniye kartofelya sorta Povirovets v Zapolyarye. Informatsionny listok № 48-75). Murmansk; 1975. [in Russian] (Козелецкая С.А. Выращивание картофеля сорта Повировец в Заполярье. Информационный листок № 48-75. Мурманск; 1975).

Krasheninnikov S.M., Vavilova M.A. How to grow early potatoes (Kak vyrastit ranniy kartofel). Murmansk: Polyarnaya Pravda; 1957. [in Russian] (Крашенинников С.М., Вавилова М.А. Как вырастить ранний картофель. Мурманск: Полярная правда; 1957).

Life path, scientific and organizational activity of Johan H. Eichfeld (Zhiznenny put, nauchnaya i organizatorskaya deyatelnost Iogana Gansovicha Eykhfelda). In: A.I. Pung et al. (eds). *On the way to the Earth's renewal: collection of articles dedicated to the 75th birthday of J.H. Eichfeld* (*Na puti k obnovleniyu zemli: sbornuk statey, posvyashchenny 75-letiyu I. G. Eykhfelda*). Tallinn: Valgus; 1968. p.5-45. [in Russian] (Жизненный путь, научная и организаторская деятельность Иогана Гансовича Эйхфельда. В кн.: *На пути к обновлению земли: сборник статей, посвященный 75-летию И. Г. Эйхфельда* / под ред. А.И. Пунга и др. Таллин: Валгус; 1968. С.5-45).

Mankov F.I., Gusev P.P., Znamenskaya M.K. Polar Experimental Station of the All-Union Institute of Plant Industry. Brief results of research work (Polyarnaya opytnaya stantsiya Vsesoyuznogo instituta rasteniyevodstva. Kratkiye itogi nauchno-issledovatelskoy raboty). Murmansk: Polyarnaya Pravda; 1957. [in Russian] (Маньков Ф.И., Гусев П.П., Знаменская М.К. Полярная опытная станция Всесоюзного института растениеводства. Краткие итоги научно-исследовательской работы. Мурманск: Полярная правда; 1955).

Vavilova M.A., Grandilevskaya S.N., Mankov F.I., Guralnik L.A. Potato (*Solanum tuberosum* L.). Cv. *Khibinsky ranny* (Kartofel [*Solanum tuberosum* L.]. Sort Khibinsky ranny). USSR; breeding achievement patent number: 895; 1967. [in Russian] (Вавилова М.А., Грандилевская Н.С., Маньков Ф.И., Гуральник Л.А. Картофель (*Solanum tuberosum* L.). Сорт Хибинский ранний. СССР; патент на селекционное достижение № 895; 1967).

Vavilova M.A. Potato breeding in the Arctic (Selektsiya kartofelya v Zapolyarye). Informatsionny listok Issue 3-4. Leningrad: VIR; 1973. [in Russian] (Вавилова М.А. Селекция картофеля в Заполярье. Информационный листок. Выпуск 3-4. Ленинград: ВИР; 1973).

Veselovsky I.A. For the advancement of the border of agriculture to the North (Za prodvizheniye granitsy zemledeliya na Sever). *Karelo-Murmansky krai = Karelo-Murmansk Region*. 1933a;(3-4):23-27. [in Russian] (Веселовский И.А. За продвижение границы земледелия на Север. *Карело-Мурманский край*. 1933a;(3-4):23-27).

Veselovsky I.A. The problem of potato breeding in the North (Problema selektsii kartofelya na Severe). *Karelo-Murmansky krai = Karelo-Murmansk Region*. 1933b;(1-2):34-40. [in Russian] (Веселовский И.А. Проблемы селекции картофеля на Севере. *Карело-Мурманский край*. 1933b;(1-2):34-40).

Zhigadlo T.E., Travina S.N. Catalogue of the VIR Global Collection. Issue 852. Early-ripening potato cultivars suitable for cultivation in Murmansk Province (Rannespelye sorta kartofelya, prigodnye dlya vozdelyvaniya v Murmanskoy oblasti). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Жигадло Т.Э., Травина С.Н. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 852. Раннеспелые сорта картофеля, пригодные для возделывания в Мурманской области. Санкт Петербург: ВИР; 2017).

Zhigadlo T.E., Travina S.N. Characterization of potato accessions according to their biological and economically useful traits in the environments of Murmansk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):32-35. [In Russian] (Жигадло Т.Э., Травина С.Н. Характеристика образцов картофеля по биологическим и хозяйственно важным признакам в условиях Мурманской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2019;180(3):32-35). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-32-35

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

Травина С.Н. Полярная опытная станция ВИР – северный форпост исследований картофеля. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):139-145. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-139-145

Travina S.N. Polar Experiment Station of VIR: the northernmost outpost of potato research. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(1):139-145. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-139-145

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/10.30901/2227-8834-2020-1-139-145

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
Travina S.N. https://orcid.org/0000-0001-6986-6353

Научное издание:

**ТРУДЫ ПО ПРИКЛАДНОЙ БОТАНИКЕ,
ГЕНЕТИКЕ И СЕЛЕКЦИИ, ТОМ 181, ВЫПУСК 1**

Научный редактор: *Е. А. Соколова*
Корректор: *А. Г. Крылов*
Компьютерная вёрстка: *А. В. Иванов*

Подписано в печать 27.03.2020. Формат бумаги 70×100 $^{1}/_{8}$

Бумага офсетная. Печать офсетная

Печ. л 18,25. Тираж 300 экз. Зак. 2603/20

Сектор редакционно-издательской деятельности ВИР

190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 42, 44

ООО «Р–КОПИ»

Санкт-Петербург, пер. Гривцова, 6^{Б}