

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Т. 14. № 2. 2022 год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Аграрный научный центр «Донской»,
член Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ).
Издается с января 2009 г.

Филиппов Е.Г. – главный редактор, канд. с.-х. н., доцент (Зерноград, Россия);
Голубова В.А. – зам. главного редактора, канд. биол. н. (Зерноград, Россия);
Донцова А.А. – ответственный секретарь, канд. с.-х. н. (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Баталова Г.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (Киров, Россия);
Беспалова Л.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Волкова Г.В. – д-р биол. н., ФГБНУ «ФНЦБЗР» (Краснодар, Россия);
Гончаренко А.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Давлетов Ф.А. – д-р с.-х. н., Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия);
Долженко В.И. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);
Зезин Н.Н. – д-р с.-х. н., ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);
Костылев П.И. – д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Лобачевский Я.П. – академик РАН, д-р техн. н., проф., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Москва, Россия);
Лукомец В.М. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);
Медведев А.М. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Пахомов В.И. – д-р техн. наук, доцент, ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Подколзин А.И. – д-р биол. н., проф., ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» (Ставрополь, Россия);
Романенко А.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Сандухадзе Б.И. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В.С. – академик РАН, д-р с.-х. н., ФГБНУ «ВНИИ кукурузы» (Пятигорск, Россия);
Храмцов И.Ф. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, Россия);
Шевченко С.Н. – академик РАН, д-р с.-х. н., СамНЦ РАН (Самара, Россия).

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Урбан Э.П. – д-р с.-х. н., член-корр. НАН РБ, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»
(Жодино, Республика Беларусь);
Усенбеков Б.Н. – канд. биол. н., проф., Институт биологии и биотехнологии растений
(Алматы, Республика Казахстан);
Халил Сурек – д-р н., Тракийский аграрный НИИ (Эдирне, Турция);
Юсупов Г.Ю. – канд. с.-х. н., Министерство сельского и водного хозяйства Туркменистана
(Ашхабад, Туркменистан).

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС 77-81134 от 17 мая 2021 г.

Журнал включен в Перечень ВАК Минобрнауки России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (группа научных специальностей 06.01.00 – агрономия). Журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ). Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбедина О.Н.

Адрес редакции и издательства: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3.

Тел.: 8(86359) 43-6-89; e-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 20.04.2022

Дата выхода 28.04.2022. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ № 000

Отпечатано в ООО «Амирит». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL

T. 14. № 2. 2022

The founder is Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural Research Center "Donskoy", a member of the Association of Science Editors and Publishers (ASEP)
The journal has been published since January, 2009.

Filippov E.G. – chief editor, Cand. Sci., docent (Agriculture) (Zernograd, Russia);
Golubova V.A. – deputy chief editor, Cand. Sci. (Biology) (Zernograd, Russia);
Dontsova A.A. – executive secretary, Cand. Sci. (Agriculture) (Zernograd, Russia).

EDITORIAL BOARD:

Batalova G.A., Federal Agricultural Research Center of the East named N.V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Kirov, Russia);
Bespalova L.A., "P.P. Lukiyanenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Volkova G.V., Federal Research Center for Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology) (Krasnodar, Russia);
Gontcharenko A.A., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Davletov F.A., Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia);
Dolzhenko V.I., All-Russian Research Institute of Plant Protection – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (St. Petersburg, Russia);
Zein N.N., Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture) (Ekaterinburg, Russia);
Lobachevsky Ya. P. – Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor, academician of RAS (Moscow, Russia);
Kostylev P.I. – Dr. Sci. (Agriculture), professor, FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Lukomets V.M., Federal Scientific Center "V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A.M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pakhomov V.I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Technology), docent (Zernograd, Russia);
Podkolzin A.I., Stavropolsky State Agricultural University – Dr. Sci. (Biology), professor (Stavropol, Russia);
Romanenko A.A., "P.P. Lukiyanenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Sandukhadze B.I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V.S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Khrantsov I.F., Omsk Agrarian Scientific Center – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Omsk, Russia);
Shevchenko S.N., Samara Research Center Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Samara, Russia);

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Urban E.P., RUE "The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of NAS RB (Zhodino, The Republic of Belarus);
Usenbekov B.N., Institute of Plant biology and biotechnology – Cand. Sci. (Biology) (Almaty, The Republic of Kazakhstan);
Khalil Surek, Trakia Agricultural Research Institute – PhD (Edirne, Turkey);
Yusupov G. Yu., Ministry of Agriculture and Water Management of Turkmenistan – Cand. Sci. (Agriculture) (Ashkhabad, Russia).

The journal has been registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor). Registration number is PI No. FS 77-81134 dated May 17, 2021

The journal has been included in the List of the leading peer-reviewed scientific publications where there are published the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences (scientific specialty 06.01.00 – Agronomy). The journal is introduced into the system of Russian Science Citation Index on the platform of Web of Science (core of RSCI). The journal has been included in the International Data Base DOAJ.

English version is of Olga N. Skuybedina.

The official address of the editorial board is 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3.

Tel.: 8(86359) 43-6-89; e-mail: zhros.don@yandex.ru

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication

The date of the issue is 28.04.2022. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No

Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

СОДЕРЖАНИЕ

Наш юбиляр 5

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

- Трипутин В.М., Ковтуненко А.Н., Кашуба Ю.Н.** Оценка урожайности образцов озимой мягкой пшеницы по параметрам экологической пластичности в условиях южной лесостепи Омской области 7
- Романов Б.В., Пимонов К.И., Сорокина И.Ю.** Гексаплоидные синтетики пшеницы как исходный материал 12
- Безуглая Т.С., Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Иванисова А.С., Кабанова Н.В., Копусь М.М.** Перспективные сорта пшеницы твердой озимой и их семеноводство 17
- Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В.** Продуктивность и стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири 24
- Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Каримов И.К.** Создание исходного материала для селекции гороха с использованием методов гибридизации и физического мутагенеза 29
- Конькова Э.А., Лящева С.В., Сергеева А.И.** Скрининг мировой коллекции озимой мягкой пшеницы по устойчивости к листовостебельным болезням в условиях Нижнего Поволжья 36
- Костылев П.И., Черткова Н.Г.** Гены устойчивости риса к бактериальному ожогу листьев, вызываемому *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae* (обзор) 41
- Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н.** Сорт ярового ячменя Формат 48
- Некрасов Е.И., Марченко Д.М., Иванисов М.М.** Оценка адаптивных свойств сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» 54
- Фирсова Т.И., Копусь М.М., Скворцова Ю.Г., Филенко Г.А.** Результаты ведения первичного семеноводства в ФГБНУ «АНЦ «Донской» с использованием метода электрофореза 59

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Хамова О.Ф., Поползухин П.В., Дмитренко О.С.** Влияние влажности на развитие эпифитной микрофлоры и всхожесть семян яровой мягкой пшеницы 64
- Лысенко А.А.** Урожайность и качество возделываемых в Приазовской зоне Ростовской области сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических факторов 70
- Левакова О.В.** Влияние метеорологических условий на яровой ячмень сорт яромир и его урожайность в условиях Рязанской области 77

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Зувев Е.В., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И.** Реакция яровой мягкой пшеницы на возбудителей твердой головни (*Tilletia caries* и *T. Laevis*) в условиях Татарстана 83
- Дерова Т.Г., Шишкин Н.В., Кононенко О.С., Самофалова Н.Е.** Устойчивость сортов озимой твердой пшеницы к бурой ржавчине (*Puccinia triticina*) и мучнистой росе (*Blumeria graminis*) в АНЦ «Донской» 89

CONTENTS

Anniversary	5
--------------------	---

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Triputin V.M., Kovtunenkov A.N., Kashuba Yu.N. Estimation of the winter bread wheat productivity according to the parameters of ecological adaptability in the southern forest-steppe of the Omsk region	7
Romanov B.V., Pimonov K.I., Sorokina I.Yu. Wheat hexaploid synthetic samples as an initial material	12
Bezuglaya T.S., Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Ivanisova A.S., Kabanova N.V., Kopus M.M. Promising winter durum wheat varieties and their seed production	17
Nikolaev P.N., Yusova O.A., Aniskov N.I., Safonova I.V. Productivity and stress resistance of the Omsk spring barley varieties in the southern forest-steppe of Western Siberia	24
Davletov F.A., Gainullina K. P., Karimov I.K. Development of initial material for pea breeding using the methods of hybridization and physical mutagenesis	29
Konkova E.A., Lyashcheva S.V., Sergeeva A.I. Screening of the world winter bread wheat collection for leaf-stem disease resistance in the Lower Volga region	36
Kostylev P.I., Chertkova N.G. Rice resistance genes to leaf blight caused by <i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>Oryzae</i> (review)	41
Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Doroshenko E.S., Bragin R.N. Spring barley variety 'Format'	48
Nekrasov E.I., Marchenko D.M., Ivanisov M.M. Estimation of adaptable properties of winter bread wheat varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy"	54
Firsova T.I., Kopus M.M., Skvortsova Yu.G., Filenko G.A. Results of conducting the primary seed production using the method of electrophoresis in the FSBSI "ARC "Donskoy"	59

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT-BREEDING

Khamova O.F., Popolzukhin P.V., Dmitrenko O.S. Humidity effect on epiphytic microflora development and seed germination of spring bread wheat	64
Lysenko A.A. Productivity and quality of grain pea varieties cultivated in the Azov area of the Rostov region depending on hydrothermal factors	70
Levakova O.V. The effect of weather conditions on the spring barley variety 'Yaromir' and its productivity in the Ryazan region	77

PLANT PROTECTION

Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N.Z., Zuev E.V., Bagavieva E.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I. Spring bread wheat response to kernel smut pathogens (<i>Tilletia caries</i> and <i>T. laevis</i>) in the Republic of Tatarstan	83
Derova T.G., Shishkin N.V., Kononenko O.S., Samofalova N.E. Brown rust (<i>Puccinia triticina</i>) and powdery mildew (<i>Blumeria graminis</i>) resistance of the winter durum wheat varieties at ARC "Donskoy"	89

НАШ ЮБИЛЯР

2 апреля 2022 года исполняется 75 лет и 52 года

*научной и общественной деятельности известному в Российской Федерации и за ее пределами
крупному ученому-селекционеру, доктору сельскохозяйственных наук, профессору,
академику РАН, Заслуженному деятелю науки РФ, Заслуженному деятелю науки Кубани*

БЕСПАЛОВОЙ ЛЮДМИЛЕ АНДРЕЕВНЕ.

Родилась Людмила Андреевна 2 апреля в хуторе Дальний Тбилисского района Краснодарского края. После окончания школы поступила в Московскую сельскохозяйственную академию им. К.А. Тимирязева (ТСХА). В 1970 г. успешно закончила ТСХА по специальности «Селекция и семеноводство полевых культур». Научную деятельность начала в 1970 г. на Целиноградской областной сельскохозяйственной опытной станции (Казахская ССР), в 1971 г. Людмила Андреевна вернулась на свою родную Кубань и поступила на работу в Краснодарский НИИСХ в отдел селекции пшеницы, к самому «хлебному Батьке» – академику П.П. Лукьяненко. Здесь Людмила Андреевна прошла путь от младшего научного сотрудника до заведующей отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале (с 1994 г. и по настоящее время).

Л.А. Беспалова является достойной ученицей своего Учителя – академика Павла Пантелеймоновича Лукьяненко, продолжателем его селекционной школы. Она сплотила вокруг себя большой и работоспособный коллектив единомышленников, создала мощный отдел с множеством направлений и современных исследований, с развитой маркетинговой службой, который по праву можно считать «пшеничной империей академика Беспаловой».

Выдающийся селекционер по пшенице и тритикале, флагман российской науки по количеству созданных сортов, их урожайности, распространению, посевным площадям. Созданные ею сорта и научные труды широко известны научной и агрономической общественности как в России, так и за рубежом. Более 50 лет она ведет в огромном масштабе целенаправленные исследования по совершенствованию традиционных, адаптации новых, разработке инновационных методов селекции и системы семеноводства пшеницы и тритикале.

Л.А. Беспалова внесла неоценимый вклад в эволюцию пшеничного растения. Ею созданы принципиально новые, более совершенные сорта пшеницы и тритикале с оригинальной архитектурой растений, новыми типами колосьев, корневой системы, архитектоникой агрофитоценоза. Благодаря ее огромной, неустанной и кропотливой работе фактически произошло удвоение урожайности озимой пшеницы на Кубани. Таким образом, менее чем за полвека эволюция пшеницы по урожайности превзошла предыдущий тысячелетний период – от введения пшеницы в культуру и до второй половины XX века.

Создание высокоинтенсивных полужернокарликовых и короткостебельных сортов на основе принципиально новой модели, разработанной Л.А. Беспаловой, позволило достичь потенциала урожайности свыше 15 т зерна с гектара. Сегодня в производстве на отдельных полях получают урожайность свыше 10 т с гектара (625 пудов; 70 лет назад за получение 100-пудового урожая присваивали звание Героя Социалистического Труда).

Л.А. Беспалова – признанный лидер среди селекционеров не только нашей страны, но и за рубежом. Она автор более 170 сортов пшеницы мягкой, шарозерной, твердой, полбы, тритикале

озимой, альтернативного образа жизни, яровой и сферококкум. В настоящее время сорта озимой пшеницы, созданные под руководством Людмилы Андреевны, занимают около 50% посевных площадей в Российской Федерации, а также высеваются в странах ближнего и дальнего зарубежья на 6,5 млн га, обеспечивая около 10% мирового валового производства зерна пшеницы. Успешное внедрение созданных сортов связано с системным развитием селекции, семеноводства и сортовой агротехнологии. Разработанная ею и широко внедренная новая антимонопольная сортовая политика, мозаичное размещение сортов на основе прецизионного их использования позволили в значительной степени увеличить и стабилизировать зерновое производство в стране.

Л.А. Беспалова внесла огромный вклад в развитие отечественной селекционной науки. Список ее научных работ содержит около 500 публикаций.

В результате большой непрерывной работы Л.А. Беспаловой по подготовке и повышению квалификации кадров создана и успешно развивается научная селекционная школа ее имени. Она подготовила 16 кандидатов и трех докторов сельскохозяйственных наук.

За огромный вклад в развитие аграрной науки Беспалова Л.А. награждена:

Золотой медалью ВДНХ СССР, 1991 г.;

Орденом Трудового Красного Знамени, 1991 г.;

Золотой медалью им. академика П.П. Лукьяненко, 1995 г.;

Почетным званием «Заслуженный деятель науки Кубани», 2000 г.;

Медалью «За выдающийся вклад в развитие Кубани» II степени, 2002 г.;

Медалью «Герой труда Кубани», 2004 г.;

Почетным званием «Заслуженный деятель науки Российской Федерации», 2005 г.;

Премией администрации Краснодарского края в области науки за 2005 год, 2006 г.;

Дипломом РАСХН за лучшую завершённую научную разработку 2006 года, 2006 г.;

Званием «Почетный гражданин Тбилисского района Краснодарского края», 2014 г.;

Почетным знаком отличия «Трудовая доблесть. Россия», 2016 г.;

Золотой медалью ВДНХ, 2017 г.;

Медалью «Слава и гордость университета», ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ, 2017 г.;

Медалью «Имя Кубани», 2017 г.;

Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, 2017 г.;

Орденом Почета, 2019 г. и многочисленными почетными грамотами, дипломами, благодарственными письмами.

Коллектив ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» и редакция журнала сердечно поздравляют юбиляра, желают крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов!

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.112.1:631.559(571.13)

DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-7-11

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ ОБРАЗЦОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ПАРАМЕТРАМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В.М. Трипутин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции озимых культур, vtriputin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3210-5507;

А.Н. Ковтуненко, заведующий лабораторией селекции озимых культур, agric@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7271-1205;

Ю.Н. Кашуба, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции озимых культур, kaschuba.jurij@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2842-3270

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»,
644012, г. Омск, проспект Королева, 26

Расширение посевных площадей озимой мягкой пшеницы в Западной Сибири сопровождается внедрением в производство новых сортов, адаптивные свойства которых требуют тщательной оценки. Цель нашей работы – охарактеризовать номера конкурсного сортоиспытания (КСИ) по параметрам экологической пластичности и стабильности. Объектом исследований в период 2016–2020 г. являлось 12 образцов озимой мягкой пшеницы из КСИ лаборатории селекции озимых культур ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Наиболее высокие значение коэффициента линейной регрессии отмечены у линий 22/16, 24/16, сортов Юбилейная 180, Омская 4 ($b_1 = 1,15-1,19$). Слабее реагировали на изменение условий среды сорта Прииртышская, Прииртышская 2, линии 38/17, 47/16, 42/18 ($b_1 = 0,81-89$). Пластичность близкую к единице имели линии 25/16, 26/16 и 43/18 ($b_1 = 1,01-1,02$). Самой стабильной по урожайности оказалась линия 24/16 ($S_d^2 = 0,01$). Ближе всего к ней были сорт Прииртышская, линии 47/16, 43/18 ($S_d^2 = 0,05-0,10$). Среди менее стабильных – сорта Омская 4, Прииртышская 2, линии 22/16, 26/16, 38/17 ($S_d^2 = 0,30-0,48$). Относительно меньшую изменчивость урожайности имели сорт Прииртышская, линии 38/17, 43/18 ($V = 22,8-23,8\%$). Непосредственно по урожайности выделяется линия 43/18 (5,70 т/га). Достоверно превышение над стандартом Омская 4 (4,24 т/га) имели также сорта Прииртышская 2 (5,29 т/га), Юбилейная 180 (5,19 т/га), линии 38/17 (5,18 т/га), 47/16 (5,01 т/га), сорт Прииртышская (4,85 т/га). В целом оценка адаптивности урожайности показала, что лучшие по этому признаку номера характеризуются разной реакцией на условия выращивания. Самая урожайная линия 43/18 является пластичной. Сорт Юбилейная 180 – это сорт интенсивного типа. У сортов Прииртышская, Прииртышская 2, линий 38/17, 47/16 реакция на изменение условий среды оказалась слабой.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность, изменчивость, пластичность, стабильность.

Для цитирования: Трипутин В.М., Ковтуненко А.Н., Кашуба Ю.Н. Оценка урожайности образцов озимой мягкой пшеницы по параметрам экологической пластичности в условиях южной лесостепи Омской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 7–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-7-11.



ESTIMATION OF THE WINTER BREAD WHEAT PRODUCTIVITY ACCORDING TO THE PARAMETERS OF ECOLOGICAL ADAPTABILITY IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF THE OMSK REGION

V.M. Triputin, Candidate of Agricultural Sciences, docent, senior researcher of the laboratory for winter grain crop breeding, vtriputin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3210-5507;

A.N. Kovtunenکو, head of the laboratory for winter grain crop breeding, agric@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7271-1205;

Yu.N. Kashuba, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for winter grain crop breeding, kaschuba.jurij@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2842-3270

Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agricultural Research Center",
644012, Omsk, Korolev Av, 26

The extension of winter bread wheat areas in Western Siberia is accompanied by the introduction of new varieties, the adaptive properties of which require careful evaluation. The purpose of the current work was to characterize the numbers of the Competitive Variety Testing (CVT) according to the parameters of ecological adaptability and stability. The objects of research through the years of 2016–2020 were 12 winter bread wheat samples from the CVT laboratory for winter grain crop breeding of the FSBSI "Omsk Agricultural Research Center". The highest values of the linear regression coefficient were identified in the lines '22/16', '24/16', the varieties 'Yubileynaya 180', 'Omskaya 4' ($b_1 = 1.15-1.19$). The varieties 'Priirtyshskaya', 'Priirtyshskaya 2', the lines '38/17', '47/16', '42/18' ($b_1 = 0.81-89$) reacted weaker to environmental changes. The lines '25/16', '26/16' and '43/18' ($b_1 = 1.01-1.02$) had adaptability close to a unit. The most stable productivity was identified in the line '24/16' ($S_d^2 = 0.01$). The similar productivity was provided by the variety 'Priirtyshskaya' and the lines '47/16', '43/18' ($S_d^2 = 0.05-0.10$). Among the less stable varieties were 'Omskaya 4', 'Priirtyshskaya 2', the lines '22/16', '26/16', '38/17' ($S_d^2 = 0.30-0.48$). The variety 'Priirtyshskaya', the lines '38/17',

'43/18' ($V = 22.8\text{--}23.8\%$) had a relatively lower productivity variability. The line '43/18' (5.70 t/ha) was the best in productivity. The varieties 'Priirtyshskaya 2' (5.29 t/ha), 'Yubileynaya 180' (5.19 t/ha), the lines '38/17' (5.18 t/ha), '47/16' (5.01 t/ha), the variety 'Priirtyshskaya' (4.85 t/ha) also had a significant excess over the standard variety 'Omskaya 4' (4.24 t/ha). In general, the estimation of the productivity adaptability has shown that the best numbers according to this trait are characterized by different reactions to growing conditions. The most productive line '43/18' is adaptable. The variety 'Yubileynaya 180' is of intensive type. The response to environmental changes of the varieties 'Priirtyshskaya', 'Priirtyshskaya 2', the lines '38/17', '47/16' was weak.

Keywords: winter wheat, productivity, variability, adaptability, stability.

Введение. Одним из резервов повышения производства зерна в Сибирском регионе является использование озимых культур, в том числе озимой пшеницы (Кашуба и др., 2019). В последнее время благодаря изменениям климата в Западной Сибири отмечается увеличение посевных площадей именно озимой пшеницы (Leonova et al., 2017).

Озимые посевы зерновых культур считаются наиболее продуктивным компонентом агроценозов (Кархардин и др., 2021). Но для получения высоких урожаев необходимы сорта, приспособленные к условиям конкретного региона (Фадеева и др., 2019). Важен подбор именно адаптивных сортов, способных обеспечивать стабильную урожайность вне зависимости от погодных условий (Ионова и др., 2021). Адаптивность рассматривается в качестве важнейшего свойства, которое следует учитывать в селекционных программах (Рыбась, 2016). Поэтому оценка реакции генотипов на изменение условий выращивания должна проводиться как на этапе изучения исходного материала, так и на заключительных этапах селекции (Косенко, 2020).

Цель нашей работы – охарактеризовать номера конкурсного сортоиспытания (КСИ) по параметрам экологической пластичности и стабильности.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследований являлись 12 образцов озимой мягкой пшеницы из КСИ лаборатории селекции озимых культур ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». В качестве стандарта использовали районированный в Омской области сорт Омская 4. Учетная площадь делянок 15 м², повторность трехкратная. Норма высева – 5 млн всхожих зерен/га. Посев номеров проводился в оптимальные для южной лесостепи сроки (3-я декада августа). Предшественник – чистый кулисный пар.

При расчете параметров экологической пластичности по значениям урожайности за период 2016–2020 гг. использован метод S.A. Eberhart, W.A. Russell в изложении В.А. Зыкина и соавторов (1984).

По метеорологическим условиям периода вегетации растений в годы опытов отмечено разнообразие. В 2016 и 2017 гг. при некоторых отличиях теплового режима по месяцам (рис. 1) сумма активных температур оказалась равной. Но при этом из-за большого количества осадков (рис. 2) 2016 г. был влажным (ГТК = 1,50), 2017 г. – засушливым (ГТК = 0,81). В 2016 г. образцы КСИ массово поразились стеблевой ржавчиной, что привело к значительному снижению их урожайности.

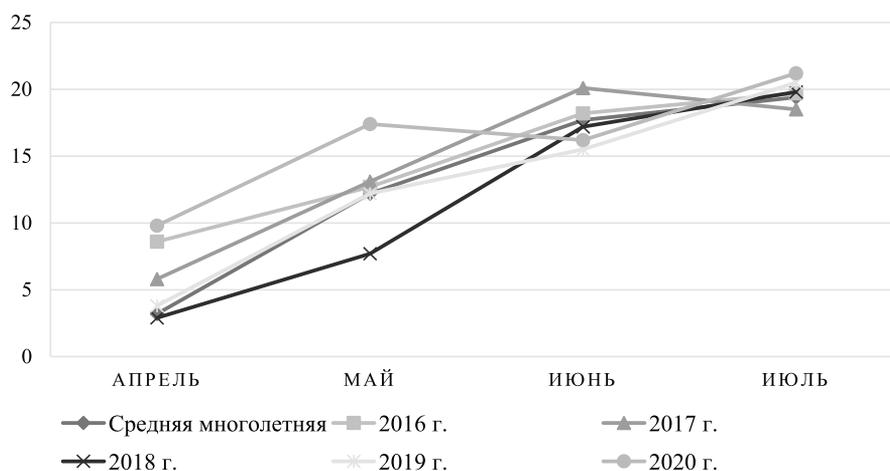


Рис. 1. Температура воздуха за вегетационный период
Fig. 1. Air temperature during the vegetation period

Холодным оказался 2018 г. (ГТК = 1,19). Вегетация озимой пшеницы в этом году началась позже обычного, поэтому сумма активных

температур к концу июля (обычные сроки созревания озимой пшеницы) была меньше среднелетней.

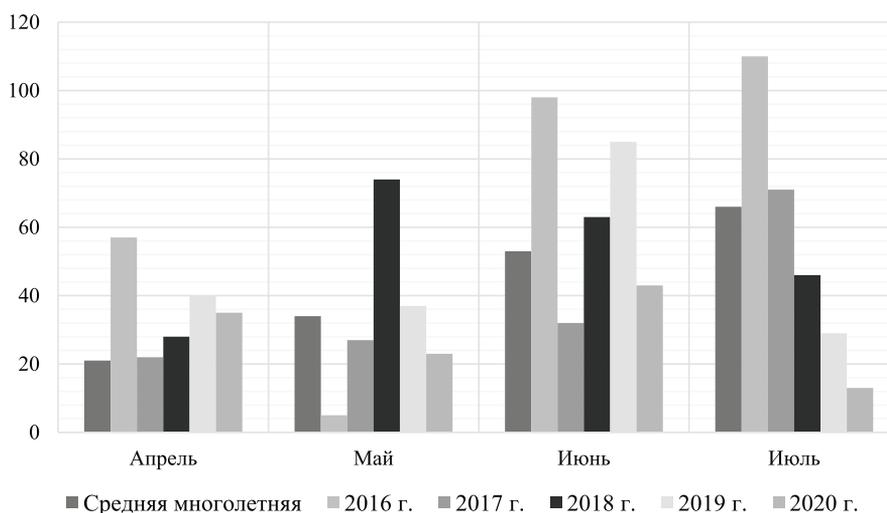


Рис. 2. Сумма осадков за вегетационный период
Fig. 2. The amount of precipitation during the vegetation period

Наиболее близким к климатическим значениям был 2019 год. ГТК этого года составил 1,09 при ГТК нормы, равном 1,01 (слабо засушливая зона). Очень засушливым из-за сильного недобора осадков и преобладания высоких температур воздуха оказался 2020 г. (ГТК = 0,59).

Результаты и их обсуждение. Общая характеристика условий выращивания проявляется при расчете индексов условий среды (I_j). Лучшие условия для роста и развития расте-

ний создаются при положительном значении индекса среды, худшие – при отрицательном (Артемова и др., 2016).

В наших опытах лучшие условия для формирования урожайности озимой пшеницы отмечены в 2017 г. ($I_j = 1,47$) и 2019 г. ($I_j = 1,08$), а самые неблагоприятные – в 2016 г. ($I_j = -1,85$) (табл. 1). Отрицательные индексы условий среды отмечены также в 2018 и 2020 гг. ($I_j = -0,32$ и $I_j = -0,38$, соответственно).

Таблица 1. Урожайность образцов озимой пшеницы, т/га
Table 2. Productivity of the winter wheat samples, t/ha

Сорт, линия	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
Омская 4 (стандарт)	2,10	5,44	4,01	6,19	3,44	4,24
Прииртышская	3,36	5,82	4,66	6,01	4,39	4,85
Прииртышская 2	4,37	6,89	4,44	6,49	4,28	5,29
Юбилейная 180	2,67	6,51	4,96	6,67	5,14	5,19
Линия 22/16	2,29	6,78	4,18	5,31	4,81	4,67
Линия 24/16	2,51	6,24	4,28	6,01	4,23	4,65
Линия 25/16	2,51	6,29	4,01	5,03	4,41	4,45
Линия 26/16	2,03	5,95	4,90	5,06	4,56	4,50
Линия 47/16	3,28	6,39	4,50	5,83	5,07	5,01
Линия 38/17	4,12	6,46	4,83	6,46	4,04	5,18
Линия 42/18	2,92	6,24	4,58	5,07	4,09	4,58
Линия 43/18	3,93	6,96	5,08	7,17	5,35	5,70
Среднее	3,01	6,33	4,54	5,94	4,48	4,86
НСР ₀₅	0,35	0,40	0,44	0,68	0,79	0,59
Индекс условий среды, I_j	-1,85	1,47	-0,32	1,08	-0,38	–

Коэффициент линейной регрессии (b_i) отражает степень реакции генотипа на изменение условий среды, что соответствует понятию экологической пластичности. Чем выше значения коэффициента ($b_i > 1$), тем большей отзывчивостью обладает данный сорт (Зыкин и др., 1984).

В изучаемом наборе номеров КСИ наиболее высокие значение коэффициента линейной регрессии отмечены у линий 22/16 ($b_i = 1,19$), 24/16 ($b_i = 1,15$) сортов Юбилейная 180 ($b_i = 1,18$), Омская 4 ($b_i = 1,17$) (табл. 2).

Таблица 2. Параметры адаптивности образцов озимой пшеницы (2016–2020 гг.)
Table 2. Parameters of adaptability of the winter wheat samples (2016–2020)

Сорт, линия	Изменчивость (V), %	Пластичность (b_i)	Стабильность (S_a^2)
Омская 4 (стандарт)	38,1	1,17	0,30
Прииртышская	22,8	0,81	0,05

Сорт, линия	Изменчивость (V), %	Пластичность (b_i)	Стабильность (S_d^2)
Прииртышская 2	26,3	0,86	0,48
Юбилейная 180	31,0	1,18	0,17
Линия 22/16	35,3	1,19	0,31
Линия 24/16	32,9	1,15	0,01
Линия 25/16	30,8	1,01	0,17
Линия 26/16	32,7	1,02	0,45
Линия 47/16	24,3	0,89	0,08
Линия 38/17	23,8	0,82	0,36
Линия 42/18	26,7	0,89	0,15
Линия 43/18	23,8	1,01	0,10

При $b_i < 1$ сорт реагирует слабее на изменение условий среды и его лучше использовать на экстенсивном фоне, где он даст максимум отдачи при минимуме затрат. Согласно расчетам, такая особенность проявилась у сортов Прииртышская, Прииртышская 2, а также линий 38/17, 47/16, 42/18 ($b_i = 0,81-89$).

Изменения урожайности сорта полностью соответствуют изменению условий выращивания, когда $b_i = 1$. К данной группе можно отнести линии 25/16, 26/16 и 43/18, у которых пластичность оказалась близкой к единице ($b_i = 1,01-1,02$).

Дисперсия (S_d^2) характеризует экологическую стабильность сорта в различных условиях выращивания. Самой стабильной была линия 24/16 ($S_d^2 = 0,01$). Также выделяются сорт Прииртышская, линии 47/16, 43/18 ($S_d^2 = 0,05-0,10$). Среди менее стабильных – сорт Прииртышская 2 ($S_d^2 = 0,48$), линии 22/16, 26/16, 38/17 ($S_d^2 = 0,31-0,45$) и стандартный сорт Омская 4 ($S_d^2 = 0,30$).

Наиболее простым и доступным показателем, позволяющим судить о потенциале онтогенетической адаптации (норме реакции), и при этом обеспечивающим сравнимость результатов, является коэффициент вариации (Волкова и Щенникова, 2020). У всех образцов изменчивость урожайности была значительной. При этом самое высокое значение данного показателя отмечено у сорта Омская 4 ($V = 38,1\%$). Относительно менее изменчивыми по урожайности оказались сорт

Прииртышская ($V = 22,8\%$), линии 38/17, 43/18 (у обеих $V = 23,8\%$).

В среднем по урожайности лучшей была линия 43/18 (5,70 т/га), которая во все годы исследований достоверно превышала стандарт. Также стоит выделить сорта Прииртышская 2 (5,29 т/га), Юбилейная 180 (5,19 т/га), линии 38/17 (5,18 т/га), 47/16 (5,01 т/га), сорт Прииртышская (4,85 т/га).

Выводы. Оценка адаптивности урожайности образцов КСИ показала, что лучшие по этому признаку номера характеризуются разной реакцией на условия выращивания. Самая урожайная линия 43/18 (5,70 т/га) является пластичной ($b_i = 1,01$). Сорт Юбилейная 180 – это сорт интенсивного типа ($b_i = 1,18$). Слабее реагируют на изменение условий среды сорта Прииртышская, Прииртышская 2, линии 38/17, 47/16 ($b_i = 0,81-0,89$). Наиболее стабильной по урожайности была линия 24/16 ($S_d^2 = 0,01$). Ближе всего к ней оказались сорт Прииртышская, линии 47/16, 43/18 ($S_d^2 = 0,05-0,10$). Относительно меньшую изменчивость урожайности имели сорт Прииртышская ($V = 22,8\%$), линии 38/17, 43/18 (у обеих $V = 23,8\%$). Выделившиеся сорта и линии озимой пшеницы показали себя как наиболее адаптивные к условиям возделывания в Омской области, и могут использоваться в селекционном процессе в качестве генетических источников на повышение адаптивности в сочетании с высоким потенциалом урожайности.

Библиографические ссылки

1. Артемова Г.В., Степочкин П.И., Пономаренко В.И., Ермошкина Н.Н., Пономаренко Г.В. Оценка сортов озимой пшеницы сибирской селекции по параметрам экологической пластичности и стабильности // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 5–10.
2. Волкова Л.В., Щенникова И.Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
3. Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Газе В.Л. Изменение механизмов адаптивности и урожайности сортов озимой мягкой пшеницы в засушливых условиях по этапам сортосмены // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 3–7. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7.
4. Кархардин И.В., Коновалов А.А., Гончаров Н.П. Изучение потенциальной зимостойкости сортообразцов и генотипов озимой мягкой пшеницы с помощью анализа автофлуоресценции тканей проростков // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 1. С. 33–40. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-133-4.
5. Кашуба Ю.Н., Ковтуненко А.Н., Трипутин В.М., Шварцкопф Т.В., Мазепа Н.Г. Результаты селекции озимой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1(61). С. 32–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-32-34.
6. Косенко С.В. Изучение адаптивной способности сортов озимой мягкой пшеницы по урожайности и качеству зерна в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 41–45. DOI: 10.28983/asj.y2020i10pp41-45.

7. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
8. Фадеева И.Д., Тагиров М.Ш., Газизов И.Н., Никифорова И.Ю., Сайфутдинова Д.Д. Изучение сортов и линий озимой пшеницы по хозяйственно ценным признакам // Вестник Казанского ГАУ. 2019. № 3. С. 71–76. DOI: 10.12737/article_5db95d3a953f93.66947300.
9. Leonova I.N., Stasyuk A.I., Skolotneva E.S., Salina E.A. Enhancement of leaf rust resistance of siberian winter wheat varieties by marker-assisted selection // Cereal Research Communications. 2017. Vol. 45(4). P. 621–632. DOI: 10.1556/0806.45.2017.048.

References

1. Artemova G.V., Stepochkin P.I., Ponomarenko V.I., Ermoshkina N.N., Ponomarenko G.V. Otsenka sortov ozimoi pshenitsy sibirskoi seleksii po parametram ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti [Estimation of the Siberian winter wheat varieties according to the parameters of ecological adaptability and stability] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2015. № 6. S. 5–10.
2. Volkova L.V., Shchennikova I.N. Sravnitel'naya otsenka metodov rascheta adaptivnykh reaktsii zernovykh kul'tur [Comparative estimation of methods for calculating adaptive responses of grain crops] // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2020. № 3. S. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
3. Ionova E.V., Likhovidova V.A., Gaze V.L. Izmenenie mekhanizmov adaptivnosti i urozhainosti sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v zasushliviyykh usloviyakh po etapam sortosmeny [Changes in the mechanisms of adaptability and productivity of winter bread wheat varieties in arid conditions according to the stages of variety change] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 1(73). S. 3-7. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7.
4. Karkhardin I.V., Konovalov A.A., Goncharov N.P. Izuchenie potentsial'noi zimostoikosti sortoobraztsov i genotipov ozimoi myagkoi pshenitsy s pomoshch'yu analiza avtofluoresentsentsii tkanei prorstkov [The study of the potential winter resistance of the winter bread wheat varieties and genotypes using autofluorescence analysis of sprouts' tissues] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2021. T. 182, № 1. S. 33–40. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-133-4.
5. Kashuba Yu.N., Kovtunenkov A.N., Triputin V.M., Shvartskopf T.V., Mazepa N.G. Rezul'taty seleksii ozimoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [The results of winter bread wheat breeding in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 1(61). S. 32–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-32-34.
6. Kosenko S.V. Izuchenie adaptivnoi sposobnosti sortov ozimoi myagkoi pshenitsy po urozhainosti i kachestvu zerna v lesostepi Srednego Povolzh'ya [The study of the adaptability of the winter bread wheat varieties according to grain productivity and quality in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 10. S. 41–45. DOI: 10.28983/asj.y2020i10pp41-45.
7. Rybas' I.A. Povyshenie adaptivnosti v seleksii zernovykh kul'tur (obzor) [Adaptability improvement in grain crop breeding (review)] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2016. T. 51. № 5. S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
8. Fadeeva I.D., Tagirov M.Sh., Gazizov I.N., Nikiforova I.Yu., Saifutdinova D.D. Izuchenie sortov i linii ozimoi pshenitsy po khozyaistvenno tsennym priznakam [The study of winter wheat varieties and lines according to economically valuable traits] // Vestnik Kazanskogo GAU. 2019. № 3. S. 71–76. DOI: 10.12737/article_5db95d3a953f93.66947300.
9. Leonova I.N., Stasyuk A.I., Skolotneva E.S., Salina E.A. Enhancement of leaf rust resistance of siberian winter wheat varieties by marker-assisted selection // Cereal Research Communications. 2017. Vol. 45(4). P. 621–632. DOI: 10.1556/0806.45.2017.048.

Поступила: 27.03.21; доработана после рецензирования: 08.08.21; принята к публикации: 09.08.21.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Трипутин В.М., Ковтуненко А.Н. – концептуализация исследования; Кашуба Ю.Н. – подготовка опыта; Трипутин В.М., Ковтуненко А.Н., Кашуба Ю.Н. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Трипутин В.М., Ковтуненко А.Н. – анализ данных и их интерпретация; Трипутин В.М. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ГЕКСАПЛОИДНЫЕ СИНТЕТИКИ ПШЕНИЦЫ КАК ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ

Б.В. Романов¹, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и генетики культурных растений, triticumrbw@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0701-1584;

К.И. Пимонов², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и садоводства, konst.pimonov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0726-2583;

И.Ю. Сорокина², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства и садоводства, irin.sorockina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6892-9308

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,

346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская 1;

e-mail: dzni@mail.ru;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской ГАУ»,

346493, Ростовская область, Октябрьский район, п. Персиановский, ул. Кривошлыкова 24;

e-mail: dongau@mail.ru

Для успешного развития селекции пшеницы в России необходим генетически разнообразный исходный материал, собранный в коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), в том числе образцы синтетической гексаплоидной пшеницы (СГП), созданные в CIMMYT путем скрещивания *Triticum durum* A⁴B с *Aegilops tauschii* D. В настоящей работе представлены результаты исследования таких гексаплоидных искусственно созданных синтетиков. Цель исследований – сравнить продукционные показатели гексаплоидных синтетиков и их макромутантных форм с сортообразцами мягкой пшеницы и оценить как исходный селекционный материал. Растения выращивали на черноземе обыкновенном в полевых условиях в коллекции видов пшеницы ФГБНУ ФРАНЦ. Показано, что в процессе выращивания у созданных гексаплоидных синтетиков продолжают происходить макромутационные фенотипические преобразования. Так, в сезоне 2019/2020 сельскохозяйственного года у образца k-65488 выявлены макромутантные формы, практически идентичные безостой мягкой пшенице. Близкое фенотипическое сходство макромутантов предполагает более легкое и результативное их скрещивание с существующими сортами мягкой пшеницы. Установлено, что по своим продукционным признакам выщепившиеся макромутанты оказались вполне на уровне, а синтетик k-65509 даже превзошел сравниваемые сорта мягкой пшеницы – Безостая 1 и Мироновская 808. Однако колосковые чешуйки у выщепившихся макромутантных форм, несмотря на их феноменальное сходство с представителями *Triticum aestivum* L., все же остаются достаточно жесткими, что затрудняет обмолот. Учитывая продукционные показатели синтетиков, которые определяются, в основном, вкладом высокопродуктивной твердой пшеницы, можно считать их, и особенно выщепившиеся макромутантные формы, весьма перспективным исходным материалом для улучшения современных сортообразцов мягкой пшеницы при помощи гибридизации.

Ключевые слова: исходный материал, синтетическая гексаплоидная пшеница, образцы мягкой пшеницы, макромутантные формы, продукционные признаки.

Для цитирования: Романов Б.В., Пимонов К.И., Сорокина И.Ю. Гексаплоидные синтетики пшеницы как исходный материал // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 12–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-12-16.



WHEAT HEXAPLOID SYNTHETIC SAMPLES AS AN INITIAL MATERIAL

B.V. Romanov¹, Candidate of Biological Sciences, docent, senior researcher of the laboratory for plant breeding and genetics, triticumrbw@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0701-1584;

K.I. Pimonov², professor of the department of plant breeding and horticulture, professor of the department of plant breeding and horticulture, konst.pimonov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0726-2583;

I.Yu. Sorokina², Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of plant breeding and horticulture, irin.sorockina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6892-9308

¹Federal Rostov Agricultural Research Center,

346735, Rostov region, Aksay district, v. of Rassvet, Institutskaya Str., 1; e-mail: dzni@mail.ru

²Donskoy State Agricultural University,

346493, Rostov region, Oktyabrsky district, v. Persianovsky, Krivoslykova Str., 24, e-mail: dongau@mail.ru

For the successful development of wheat breeding in Russia, there is a great need in a genetically diverse initial material, presented the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR), including samples of synthetic hexaploid wheat (SHW) developed at CIMMYT by crossing *Triticum durum* A⁴B с *Aegilops tauschii* D. The current paper has presented the study results of such artificially developed hexaploid synthetic samples. The purpose of the current study was to compare the production indicators of hexaploid synthetic samples and their macromutant forms with bread wheat varieties and to evaluate them as an initial breeding material. The plants were grown in ordinary blackearth (chernozem) on the fields of the FSBSI FRARC. There has been shown that macromutational phenotypic transformations continue to occur in the developed hexaploid synthetic samples during the vegetation period. In the agricultural year of 2019/2020, in the sample 'k-65488' there were identified macromu-

tant forms almost identical to awnless bread wheat. The close phenotypic similarity of macromutants has suggested their easier and more effective crossing with existing bread wheat varieties. There has been found that according to their production characteristics, the identified macromutants turned out to be quite identical, and the synthetic sample 'k-65509' even surpassed the comparable bread wheat varieties 'Bezostaya 1' and 'Mironovskaya 808'. However, spikelet scales in the identified macromutant forms, despite their phenomenal similarity with the representatives of *Triticum aestivum* L., still remain quite hard, which makes threshing difficult. Taking into consideration the production indicators of synthetic samples, which are mainly determined by the contribution of highly productive durum wheat, we can consider them and, especially, the identified macromutant forms, as a very promising initial material to improve the present bread wheat variety samples using hybridization.

Keywords: initial material, synthetic hexaploid wheat, bread wheat samples, macromutant forms, production characteristics.

Введение. Зерно пшеницы на Дону, его урожайность и качество – важнейший источник доходов производителей (Копусь и др., 2018). Вместе с тем в связи с нарастанием аридности климата большое внимание уделяется адаптивности вновь создаваемых сортов к засушливым условиям (Чернова и др., 2020). Поэтому для успешного развития селекции пшеницы в России необходим генетически разнообразный исходный материал, в основном сохраняемый в коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), в том числе образцы синтетической гексаплоидной пшеницы (СГП), созданные в СИММУТ путем скрещивания *Triticum durum* A⁴B с *Aegilops tauschii* D (Хакимова и др., 2019). Синтетическая биология – быстро развивающаяся отрасль науки, нацеленная на создание биологических систем с предсказанными свойствами. При этом она использует достижения современной биологии, программирования и компьютерного моделирования, а также инженерной отрасли для создания биологических объектов, обладающих набором заранее заданных пользовательских свойств (Шевелев и Пышный, 2018). С этой позиции гексаплоидные синтетики пшеницы как исходный материал представляют значительный интерес для практической селекции.

Цель настоящих исследований – сравнить продукционные показатели гексаплоидных синтетиков пшеницы и их макромутантных форм с сортообразцами мягкой пшеницы и оценить как исходный селекционный материал.

Материалы и методы исследований. В коллекции видов пшеницы ФГБНУ ФРАНЦ (Федеральный Ростовский аграрный научный центр) гексаплоидные синтетики были получены относительно недавно, характеристики их представлены на сайте Агропромышленного портала (Коллекция видов пшеницы). В качестве объектов исследования на первом этапе были посеяны 10 гексаплоидных синтетиков, полученных из коллекции ВИР (Санкт-Петербург). Растения синтетиков и сортообразцов мягкой пшеницы выращивали одновременно и в одинаковых полевых условиях на черноземе обыкновенном. В фазу полной спелости отбирали по 15 растений и проводили структурный анализ. Статистическую обработку данных прово-

дили по Б.А. Доспехову (1985) с использованием стандартных компьютерных программ Statistica 6,0 и Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Большинство образцов синтетиков внешне (фенотипически) благодаря своему геномному составу A⁴BD напоминали формы, близкие сортообразцам мягкой пшеницы *T. aestivum* A⁴BD. Однако практически все синтетики характеризовались жесткими, толстыми и грубыми колосковыми чешуйками, из-за чего обладали трудным обмолотом. Зерновки у них очень походили на семена мягкой пшеницы, и у некоторых образцов отмечалась высокая стекловидность, что косвенно подтверждает достаточно хорошее их качество. Культивирование гексаплоидных синтетиков показало нестабильность некоторых образцов. По крайней мере, в сезоне 2019/2020 сельскохозяйственного года у синтетика k-65488 были обнаружены формы, мало отличимые фенотипически от безостой мягкой пшеницы (см. рисунок). Как видно, исходный синтетик, хотя и близок к остистой мягкой пшенице, но все же отличается от ее представителей. Он скорее занимает промежуточное положение между спельтоидной формой и настоящей остистой мягкой пшеницей, тогда как безостые мутанты практически ничем не отличались от истинных безостых представителей *T. aestivum* L. В этой связи можно отметить, что полученный нами гомолог мягкой пшеницы из спельтоидного *T. kiharae* AbGD также был похож фенотипически и на мягкую пшеницу, и на исходный синтетик (Романов и Пимонов, 2018; Романов и Пимонов, 2020). Что характерно, в дальнейшем из гомолога, похожего на рассматриваемый исходный синтетик k-65488, также выщепилась безостая форма, феноменально напоминающая мягкую пшеницу, и селекционная работа с ней в настоящее время продолжается.

Колоски и зерновки у выщепившихся из синтетика макромутантов внешне аналогичны таковым сортообразцам мягкой пшеницы. Однако характерная особенность этих макромутантных форм заключается в том, что колосья у них, так же как и у исходной формы, весьма жесткие. Поэтому, несмотря на внешнее сходство с безостой мягкой пшеницей, зерно у них очень трудно вымолачивается, что испытано нами при ручном обмолоте.



Синтетическая гексаплоидная исходная форма k-65488-2 и макромутанты из нее:
 темноколосый – 1, светлоколосый – 3
 Synthetic hexaploid initial form 'k-65488-2' and its macromutants:
 dark-headed – 1, light-headed – 3

Можно отметить определенный закономерный характер преобразований как гексаплоидного синтетика k-65488 (A^uBD), так и гексаплоидного *T. kiharae* (AbGD). То есть выщепление у первого в конечном итоге макромутантных форм «мягкой пшеницы», а у второго – так называемого полного гомолога мягкой пшеницы (по сути той же «мягкой пшеницы»). Очевидно, вовлечение этих макромутантных форм в гибридационный процесс будет более эффективным ввиду их фенотипической близости к мягкой пшенице. Во всяком случае, при скрещивании гомолога с представителями *T. aestivum* завязываемость была достаточно хорошей, и получено многочисленное потомство, с которым ведется селекционная работа. Вместе с тем надо учитывать, что синтетики созданы на базе гибридизации твердой пшеницы с *Ae. tauschii*, тогда как принято считать, что истинная мягкая пшеница получена при гибридизации тетраплоидной *T. persicum* A^uB с источником генома D – *Ae. tauschii* (Пшеницы мира: видовой состав, достижения селекции, современные проблемы и исходный материал, 1987). Поскольку представители *T. durum* A^uB превосходят по продукционным признакам персидскую пшеницу A^uB, то полученные на их базе гексаплоидные мутантные формы «A^uBD» представляют определенный интерес как исходный материал для селекционного улучшения настоящих современных сортов *T. aestivum* A^uBD.

Продукционные характеристики синтетиков, их макромутантных форм и стародавних сортов мягкой пшеницы представлены в таблице. Если рассмотреть синтетик k-65488 и выщепившиеся из него макромутанты, то можно отметить тенденцию к увеличению у последних продукционных признаков. Так, у них несколько возрастает, хотя и недостоверно, количество зерен: 53,8 и 55,8 против 49,8 у исходной формы. Отмечается тенденция по увеличению крупности (от 40,6 г у исходного синтетика до 44,1 г у темноколосой мутантной формы) и массы зерна с колоса по сравнению с исходной формой.

В то же время эти выделенные макромутантные формы существенно уступают известному стародавнему сортообразцу Безостая 1 по такому важному селекционному показателю, как масса зерна с колоса, но превосходят сортообразец Мироновская 808. С другой стороны, в таблице представлен гексаплоидный синтетик k-65509, который значительно превышает показатели Мироновской 808 и Безостой 1 по числу зерновок (70,3 шт.) и по массе зерна с колоса (3,21 г). Он так же, как и синтетик k-65488 (14,5 см), выделялся своим очень крупным колосом – 16,5 см, против 12,1 и 13,1 см у стародавних сортов мягкой пшеницы и мутантных форм 11,8 и 13,5 см, соответственно.

Продукционные характеристики синтетиков, их макромутантных форм и стародавних сортов мягкой пшеницы
Production characteristics of synthetic samples, their macromutant forms and former bread wheat varieties

Генотип	Длина колоса, см	Количество, шт.		Масса 1000 зерен, г	Вес зерен с колоса, г
		колосков	зерен		
Синтетик k-65488 исходный	14,5	17,6	49,8	40,6	2,02
Мутант № 1 из k-65488	13,5	20,1	52,8	44,1	2,33
Мутант № 3 из k-65488	11,8	18,4	55,8	42,6	2,25

Генотип	Длина колоса, см	Количество, шт.		Масса 1000 зерен, г	Вес зерен с колоса, г
		колосков	зерен		
Синтетик к-65509	16,5	22,2	70,3	43,5	3,21
Мироновская 808	12,1	22,9	45,3	47,8	2,12
Безостая 1	13,1	22,7	56,3	49,7	2,78
НСР ₀₅	1,0	1,5	9,6	–	0,33

Выводы. Большинство гексаплоидных синтетиков пшеницы (A⁶BD), созданных при гибридизации твердой пшеницы *T. durum* A⁶B с *Ae. tauschii* D, в той или иной степени фенотипически напоминают образцы *T. aestivum* A⁶BD. Более того, в результате макроэволюционных преобразований из синтетика к-65488 выщепились формы, внешне идентичные безостой мягкой пшенице.

Таким образом, определенное фенотипическое сходство (особенно выщепляющихся макромутантных форм) и достаточно высокие продукционные показатели синтетика к-65509 дают возможность использовать их как исходный материал для селекционного улучшения продукционных показателей мягкой пшеницы.

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
2. Копусь М.М., Ионова Е.В., Дорохова Д.П., Мирошников К.А. Пшеница Дона: урожайность и качество зерна – конкуренция и сортовое разнообразие // Зерновое хозяйство России. 2018. № 2(56). С. 42–46. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-56-2-42-46>.
3. Пшеницы мира: видовой состав, достижения селекции, современные проблемы и исходный материал. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987. 559 с.
4. Романов Б.В., Пимонов К.И. Феномогеномика продукционных признаков видов пшеницы. Монография. Донской ГАУ, 2018. 188 с.
5. Романов Б.В., Пимонов К.И. Гомологичная мягкой пшенице форма из *Triticum kiharae* Dorof. et Migusch // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2(58). С. 153–163. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-15.
6. Чернова В.Л., Подгорный С.В., Скрипка О.В. Урожайность и параметры адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в условиях южной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 21–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-21-25.
7. Шевелев Г.Ю., Пышный Д.В. Современные подходы к синтезу генов: аспекты синтеза олигонуклеотидов, ферментативной сборки, проверки последовательностей и коррекции ошибок // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. 22(5). С. 498–506. <https://doi.org/10.18699/VJ18.387>.
8. Хакимова А.Г., Губарева Н.К., Кошкин В.А., Митрофанова О.П. Генетическое разнообразие и селекционная ценность синтетической гексаплоидной пшеницы, привлеченной в коллекцию ВИР // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. 23(6). С. 738–745. DOI 10.18699/VJ19.548.
9. Коллекция видов пшеницы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agromaestro.com/2019/12/01>.

References

1. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
2. Kopus' M.M., Ionova E.V., Dorokhova D.P., Miroshnikov K.A. Pshenitsa Dona: urozhainost' i kachestvo zerna – konkurentsiya i sortovoe raznoobrazie [Wheat on Don: productivity and grain quality – competition and varietal diversity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 2(56). S. 42–46. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-56-2-42-46>.
3. Pshenitsy mira: vidovoi sostav, dostizheniya selektsii, sovremennyye problemy i iskhodnyi material [Wheat of the world: varietal composition, breeding achievements, modern problems and initial material]. 2-e izd., pererab. i dop. Leningrad, 1987. 559 s.
4. Romanov B.V., Pimonov K.I. Fenomogenomika produktsionnykh priznakov vidov pshenicy [Phenogenomics of production traits of wheat varieties]. Monografiya. Donskoj GAU, 2018. 188 s.
5. Romanov B.V., Pimonov K.I. Gomologichnaya myagkoi pshenitse forma iz *Triticum kiharae* Dorof. et Migusch [Homologous to common wheat form *Triticum kiharae* Dorof. et Migusch] // Izvestiya nizhnevolszhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2020. № 2(58). S. 153–163. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-02-15.
6. Chernova V.L., Podgornyi S.V., Skripka O.V. Urozhainost' i parametry adaptivnosti sortov ozimoi myagkoi pshenitsy selektsii FGBNU «ANTs «Donskoi» v usloviyakh yuzhnoi zony Rostovskoi oblasti [Productivity and adaptability parameters of the winter bread wheat varieties developed by the FSBSI «ARC Donskoy» in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 5(71). S. 21–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-21-25.
7. Shevelev G.Yu., Pyshnyi D.V. Sovremennyye podkhody k sintezu genov: aspekty sinteza oligonukleotidov, fermentativnoi sborki, proverki posledovatel'nostei i korrektsii oshibok [Modern approaches to gene synthesis: aspects of oligonucleotide synthesis, enzymatic collection, sequence validation and error correction] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. 22(5). S. 49–506. <https://doi.org/10.18699/VJ18.387>.

8. Khakimova A.G., Gubareva N.K., Koshkin V.A., Mitrofanova O.P. Geneticheskoe raznoobrazie i selekcionnaya tsennost' sinteticheskoi geksaploidnoi pshenitsy, privlechennoi v kolleksiya VIR [Genetic diversity and breeding value of synthetic hexaploid wheat introduced into the VIR collection] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. 23(6). S. 738–745. DOI 10.18699/VJ19.548.

9. Kolleksiya vidov pshenitsy [Collection of wheat varieties] [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://agromaestro.com/2019/12/01>.

Поступила: 16.11.21; доработана после рецензирования: 12.12.21; принята к публикации: 13.12.21.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Романов Б.В. – концептуальное исследование; Романов Б.В., Пимонов К.И., Сорокина И.Ю. – подготовка и выполнение полевых и лабораторных опытов и сбор данных; Романов Б.В. – анализ данных и их интерпретация; Романов Б.В., Пимонов К.И., Сорокина И.Ю. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.112:631.523

DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-17-23

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СОРТА ПШЕНИЦЫ ТВЕРДОЙ ОЗИМОЙ И ИХ СЕМЕНОВОДСТВО

Т.С. Безуглая, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, mts0304@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2286-637x;

Н.Е. Самофалова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164;

Н.П. Иличкина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322;

А.С. Иванисова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x;

Н.В. Кабанова, агроном лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0001-8060-7512;

М.М. Копусь, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 0000-0001-8824-1033

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Основной задачей сельхозпроизводителей остается получение высокой и стабильной урожайности, которую могут обеспечить новые создаваемые сорта, являющиеся главным резервом увеличения производства зерна. В статье представлены результаты работы за 2018–2021 гг., а именно – создание перспективных сортов и основные особенности семеноводства. Целью исследований являлись оценка перспективных сортов пшеницы твердой озимой по основным хозяйственно-биологическим признакам и свойствам, качественным показателям зерна и макарон и особенности семеноводства. Изучаемые сорта способны давать стабильно высокие урожаи (от 5,56 до 12,67 т/га), сочетающие основные хозяйственно-биологические признаки (засухоустойчивость, морозостойкость, устойчивость к основным болезням и полеганию) и качественные показатели зерна и макарон. Изучение физико-химических свойств зерна показало, что сорта твердой озимой пшеницы отвечают требованиям ГОСТ 9353-2016 и относятся к 1–2 классу качества, что вполне достаточно для получения хороших макаронных изделий и крупки. Цвет макарон у сортов Яхонт, Янтарина, Услава желтый (4,3–4,6 балла), у Юбилярки кремовый (3,5 балла), содержание каротиноидов варьировало от 507 мкг/% (Юбилярка) до 610 мкг/% (Услава). Для сохранения и поддержания основных признаков и свойств, присущих каждому сорту, ведется их семеноводство с комплексной оценкой как фенотипических (апробационных) признаков, так и генотипических с помощью белковых маркеров. Сорта Яхонт, Юбилярка, Янтарина и Услава имеют четко отличимые спектры глиадинов – 3.2.3Т2, 13.2Т+6Т.3.Т1, 5.2.4Т1 и 13Х.4Т.3.2, что дает возможность контролировать их сортовую чистоту на всех этапах семеноводства.

Ключевые слова: пшеница, сорт, селекционная линия, семья, качество, урожайность, устойчивость.

Для цитирования: Безуглая Т.С., Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Иванисова А.С., Кабанова Н.В., Копусь М.М. Перспективные сорта пшеницы твердой озимой и их семеноводство // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 17–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-17-23.



PROMISING WINTER DURUM WHEAT VARIETIES AND THEIR SEED PRODUCTION

T.S. Bezuglaya, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, mts0304@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2286-637x;

N.E. Samofalova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164;

N.P. Ilichkina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322;

A.S. Ivanisova, junior researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x;

N.V. Kabanova, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-8060-7512;

M.M. Kopus, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0001-8824-1033

Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The main task of agricultural producers has always been and still remains to obtain high and stable yields, which can be provided by new developed varieties, which are the main reserve for increasing grain production. The current paper has presented the study results of the work in 2018–2021, namely, the development of promising varieties and the main features of seed production. The purpose of the study was to estimate promising winter durum wheat varieties according to the main economic and biological traits and properties, quality indicators of grain and pasta, and seed production features. The studied varieties were able to give consistently high yields (from 5.56 to 12.67 t/ha), combining the main economic and biological traits (drought resistance, frost resistance, resistance to major diseases and lodging) and quality indicators of grain and pasta. The study of the physicochemical properties of grain showed that the winter durum wheat varieties met the requirements of GOST 9353-2016 and belonged to the 1–2 quality classes, which was quite enough to produce good pasta and cereal. The pasta color of the varieties 'Yakhont', 'Yantarina', 'Uslada' was yellow (4.3–4.6 points); it was creamy in the variety 'Yubilyarka' (3.5 points); the content of carotenoids varied from 507 µg/% (the variety 'Yubilyarka') to 610 µg/% (the variety 'Uslada'). In order to preserve and maintain the main features and properties characteristic for each variety, their seed production is being currently carried out with a comprehensive estimation of both phenotypic (approbation) traits and genotypic ones using protein markers. The varieties 'Yakhont', 'Yubilyarka', 'Yantarina' and 'Uslada' have clearly distinguishable spectra of gliadins 3.2.3T2, 13.2T+6T.3.T1, 5.2.4T1 and 13X.4T.3.2, which makes it possible to control their varietal purity at all stages of seed production.

Keywords: wheat, variety, breeding line, family, quality, productivity, resistance.

Введение. Зерновым и крупяным культурам принадлежит ведущее место в производстве растениеводческой продукции как в мировом, так и отечественном земледелии (Зотиков, 2017).

Ценность зерна твердой пшеницы определяется прежде всего исключительной упругостью, прочностью и растянутостью клейковины, обеспечивающей высокие технологические свойства. Только из ее сортов вырабатывается специальная крупнозернистая мука – крупка, которая служит незаменимым сырьем для изготовления спагетти, макарон, вермишели и использования в кондитерской промышленности (Гаевая и Мищенко, 2015; Магомедов и др., 2020). В странах Средиземноморья зерно твердой пшеницы применяют для производства пасты, круп кускус и булгур (Щипак и др., 2012; Kabbaj et al., 2017; Мальчиков и Мясникова, 2020).

Во всем мире твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) ежегодно занимает площади около 17,0 млн га. Производство зерна колеблется по годам от 32 до 42 млн тонн. В России, по оценке Минсельхоза, в 2021 г. площадь посевов под твердой пшеницей составила 689 тыс./га, валовой сбор – 735 тыс. т, что недостаточно даже для удовлетворения потребности внутри страны.

В Ростовской области с населением более 4 млн человек потребность в зерне твердой пшеницы должна составить 200–250 тыс. т, примерно столько требуется для изготовления различного вида круп, а производится от 30 до 50 тыс. т зерна, что составляет 0,5–0,8% от посева и производства всей пшеницы в области (Кравченко и др., 2020).

В связи с этим основной задачей сельхозпроизводителей остается получение высокой и стабильной урожайности, которую могут обеспечить вновь создаваемые сорта, являющиеся главным резервом увеличения производства зерна (Фарниев и др., 2010; Евдокимов и др., 2017).

Цель исследований – дать оценку перспективным сортам пшеницы твердой озимой по основным хозяйственно-биологическим признакам и свойствам, качественным показателям зерна и макарон, показать особенности семеноводства.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2018–2021 гг. на опытных полях ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенных в южной зоне Ростовской области. Объектом для исследований послужили сорта пшеницы озимой твердой, допущенные к использованию в производство Северо-Кавказского региона (Яхонт, Юбилярка, Янтарина), Северо-Кавказского и Нижневолжского (Услава). За стандарт взят сорт Кристелла, который является контролем и в системе ГСИ. В первичных звеньях семеноводства стандартами были изучаемые сорта, посеянные оригинальными семенами.

Закладку опытов, фенологические наблюдения, полевые учеты и оценки (на морозостойкость, засухоустойчивость, поражаемость болезнями) выполняли в соответствии с методикой государственного испытания (1989) и методикой полевого опыта (2014). Посев питомников конкурсного испытания проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed S в шестикратной повторности с учетной площадью делянок 10 м². Предшественник – сидеральный пар. Уборку урожая осуществляли комбайном Wintersteiger Classic в фазу полной спелости.

Показатели качества зерна и макарон определяли по методикам ГСИ. Математическая и статистическая обработка данных выполнена по методике Б.А. Доспехова (2014).

Погодные условия в годы исследований различались как по количеству осадков, так и по температурному режиму. 2017/2018 сельскохозяйственный год характеризовался жесточайшей засухой в период активной вегетации пшеницы (апрель – июнь). Количество осадков за этот период составило 25,9 мм при среднемноголетнем 165,3 мм. Среднесуточные температуры воздуха превышали среднемноголетние в апреле на 0,8 °С, мае – на 2,7 °С, июне – на 3,4 °С. Тем не менее, год оказался оптимальным для формирования по изучаемым сортам максимальной урожайности, благодаря хорошим запасам влаги в почве за счет осадков октября–марта. 2018/2019 сельскохозяйственный год отмечен как сложный по погодным условиям из-за повышенных температур в предпосевной и посевной периоды, позднего срока посева, изреженности всходов, неравномерно-

го распределения осадков в течение года, засухи в период вегетации растений, формирования низкой урожайности. 2019/2020 сельскохозяйственный год в целом, несмотря на оптимальные условия при посеве, отличался от других лет исследований количеством засух; в осенне-зимний период (октябрь–декабрь), весенний (март–апрель), летний (июнь) с недобором осадков к среднемуголетней на 100,3 мм, 61,5 мм и 32,5 мм соответственно. Во вторую и третью декаду марта, а также в течение всего апреля отмечались заморозки до $-7,7$ °С, на поверхности почвы до $-8,8$ °С, что вместе с отсутствием влаги в почве привело к повреждению растений у менее устойчивых к этому криогенному стрессу сортов, значительному снижению урожайности как от засухи, так и возврата весенних заморозков. Особенностью погодных условий 2020/2021 с.х. года в сравнении с предыдущими являлось: недостаточное количество осадков осенью – 28,4 мм (21,6%) и зимой – 117,3 мм (80,5%) при повышенном температурном режиме, практически отсутствием влаги в почве; обилие осадков весной – 243,9 мм (185,1%) и летом – 179,6 мм (103,1%). Такие условия оказались крайне неблагопри-

ятными для своевременного посева, и оптимальными для кущения, хорошего развития растений в весенне-летний период, формированию довольно высокой урожайности – порядка 7–9 т/га.

Результаты и их обсуждение. Перспективные сорта обладают высокой продуктивностью, которую можно увидеть по максимальной урожайности, полученной в 2018 г., – от 11,84 до 12,67 т/га, превышение над стандартом составило 0,02–0,85 т/га (табл. 1). Низкая урожайность отмечена в 2019 г. и составила от 5,56 т/га (сорт Услава) до 6,02 т/га (сорт Яхонт), урожайность стандартного сорта – 5,18 т/га. Промежуточными оказались 2020 и 2021 гг., где урожайность 5,79–8,07 т/га (2020 г.) и 6,86–7,96 т/га (2021 г.), у стандартного сорта Кристелла соответственно 8,27 и 6,81 т/га.

С 2018 по 2021 г. средний сбор зерна по сортам составил 7,92–8,37 т/га. Превышение над стандартом Кристелла составило 0,17–0,35 т/га, за исключением сорта Юбилярка, где недобор зерна объясняется крайне низкой урожайностью в 2019 г. в связи со слабой устойчивостью этого сорта к возврату весенних заморозков.

Таблица 1. Урожайность сортов пшеницы твердой озимой в конкурсном испытании, т/га
Table 1. Productivity of the winter durum wheat varieties in the competitive testing, t/ha

Сорт	Годы				Средняя	Прибавка к стандарту
	2018	2019	2020	2021		
Кристелла, ст.	11,82	5,18	8,27	6,81	8,02	–
Яхонт	12,02	6,02	7,87	6,86	8,19	+0,17
Юбилярка	12,67	5,81	5,79	7,44	7,92	-0,10
Янтарина	11,84	5,85	8,07	7,15	8,22	+0,20
Услава	11,94	5,56	8,02	7,96	8,37	+0,35
НСР ₀₅	0,49	0,45	0,36	0,60	–	–

Новые сорта имеют различия по ряду признаков и свойств (табл. 2). По морозостойкости сорт Яхонт не уступает стандарту Кристелла (90 и 85,1%), несколько ниже она у сортов Юбилярка, Янтарина и Услава – на 4,0, 5,4 и 11,9%. Для всех четырех сортов характерна высокая устойчивость к воздушной засухе, особенно в фазы налива и созревания зерна (4–4,5 балла). По вегетационному периоду представленные сорта относятся к среднеспелой группе, колосятся и созревают на 3–6 дней

позже среднераннего стандарта Кристелла. Сорта в годы избыточного увлажнения устойчивы к полеганию от 4,0 до 4,6 балла, стандарт – 3,3 балла. Высокая устойчивость к поражению бурой ржавчиной, мучнистой росой и септориозом присуща сортам Услава и Яхонт. Все сорта формируют хорошо выполненное крупное зерно высокого качества. Масса 1000 зерен составила в среднем за 4 года: Юбилярка – 39,2 г; Яхонт – 39,7 г; Янтарина – 41,3 г; Услава – 41,1 г.

Таблица 2. Характеристика сортов по хозяйственно-ценным признакам и свойствам (2018–2021 гг.)
Table 2. Characteristics of varieties according to economically valuable traits and properties (2018–2021)

Сорт	Устойчивость к возврату весенних заморозков, балл	Морозостойкость (КНТ при -17 – -18 °С), %		Засухоустойчивость, балл	Поражаемость болезнями			Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, балл	Масса 1000 зерен, г
		сорт	±к ст.		бурая ржавчина, %	мучнистая роса, балл	септориоз, %			
		Кристелла, ст.	5,0		–	–	4,5			
Яхонт	4,5	90,0	+4,9	4,0	10	1,5	20	90,0	4,8	39,7
Юбилярка	3,5	84,0	-4,0	4,5	10	1,5	30	95,1	4,7	39,2
Янтарина	4,8	85,0	-5,4	4,5	15	1	40	91,6	4,5	41,3
Услава	4,5	80,3	-11,9	4,5	5	1	20	87,3	4,7	41,1
Восприимчивый сорт	–	–	–	–	80-100	3	60-80	–	–	–

Качество зерна и макарон хорошее. Все сорта отвечают требованиям ГОСТ 9353-2016 на твердую пшеницу и не уступают в этом от-

ношении высококачественному стандартному сорту Кристелла (табл. 3).

Таблица 3. Показатели качества зерна сортов пшеницы твердой озимой (2018–2021 гг.)
Table 3. Grain quality indicators of the winter durum wheat varieties (2018–2021)

Сорт	Натура, г/л	Стекловидность, %	Белок, %	Клейковина, %	Группа качества клейковины	Число падения, с*
Кристелла, ст.	781	90	15,03	27,9	II	421
Яхонт	811	87	15,17	28,0	II	409
Юбилярка	783	87	14,52	26,7	II–III	423
Янтарина	807	84	14,53	28,5	II	431
Услава	789	79	14,43	27,1	II–III	371,3

*Данные за 2018–2020 гг.

Так, натура зерна в среднем за 4 года изучения была от 784 г/л у Юбилярки и до 811 г/л у Яхонта, что соответствует 1 классу качества. По показателю стекловидности выделились сорта Юбилярка – 87%, Яхонт – 86,7%, все они относятся к 1 классу. Сорта Янтарина и Услава сформировали стекловидность 2–3 класса – 84 и 79%.

Представленные сорта характеризовались достаточно высоким содержанием белка в зерне и соответствовали требованиям 1 класса качества ГОСТ. Количество белка в зерне ва-

рьювало от 14,43% (сорт Услава) до 15,17% (сорт Яхонт), у стандарта – 15,03%. Сорта Яхонт и Янтарина способны формировать клейковину 1 класса ГОСТа, количество клейковины составило 28,0 и 28,5% соответственно. У сортов Юбилярка и Услава содержание клейковины составило 26,7 и 27,9%, что отвечает 2 классу качества ГОСТ. По числу падения все сорта относятся к 1 классу качества ГОСТ (371–431 с).

На рисунке 1 представлены основные показатели качества клейковины, ее реологические свойства.

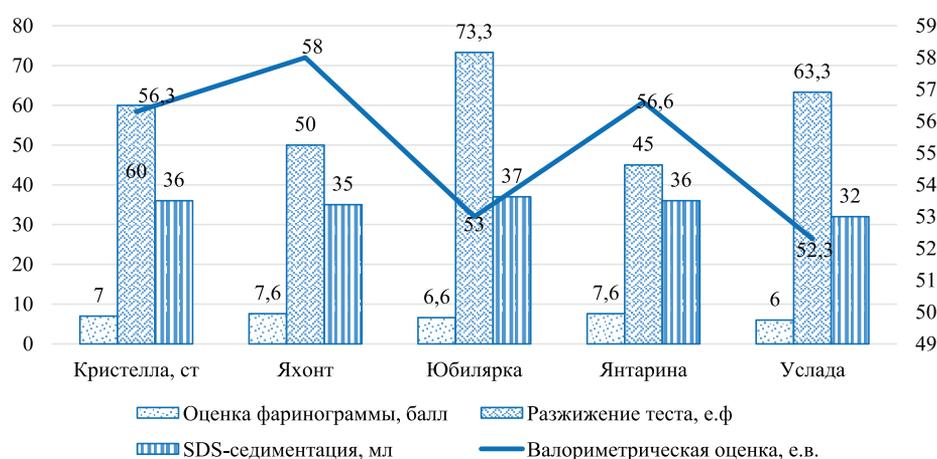


Рис. 1. Реологические свойства клейковины, КСИ (2018–2021 гг.)
Fig. 1. Rheological properties of gluten, CVT (2018–2021)

Как видно из рисунка, сорта Яхонт и Янтарина обладают хорошими реологическими свойствами клейковины: величина SDS-седиментации 37 мл, валориметрическое число – 58 е.в., разжижение – 50,45 е.ф., общая оценка фаринограммы – 8 баллов. Сорта Юбилярка и Услава характеризовались более низкими реологическими свойствами клейковины.

Одним из потребительских свойств макаронных изделий является их цвет, обусловленный содержанием каротиноидов в зерне. Цвет макарон желтый (4,3–4,6 балла) у сортов Яхонт, Янтарина и Услава, кремовый (4) – Кристелла и кремовый с серым оттенком (3,5 балла) –

у Юбилярки. Содержание каротиноидов варьировало от 507 мкг/% (Юбилярка) до 610 мкг/% (Услава) (рис. 2).

Все сорта имеют различия по ряду морфологических (апробационных) признаков колоса и зерна (табл. 4).

Для сохранения и поддержания урожайных, хозяйственных и морфологических признаков и свойств, присущих каждому сорту, их первичное семеноводство ведется по общепринятой для самоопылителей схеме: питомники отбора, питомник испытания потомств первого год (ПИП-1); питомники оригинальных семян (ОС) 1–3 года.

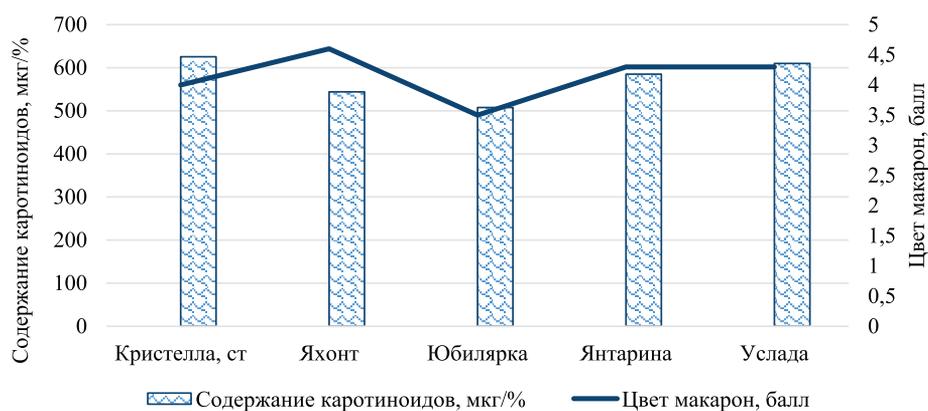


Рис. 2. Содержание каротиноидов и цвет макарон (2018–2021 гг.)
 Fig. 2. Carotenoid content and pasta color (2018–2021)

Таблица 4. Морфологические признаки сортов пшеницы твердой озимой
 Table 4. Morphological traits of the winter durum wheat varieties

Признак		Кристелла, ст.	Яхонт	Юбилярка	Янтарина	Услава
Разновидность		леукурум	леукурум	леукурум	леукурум	леукурум
Колос	форма	пирамидальный	пирамидальный	призматический-пирамидальный	пирамидальный	пирамидальный
	окраска	белый	белый	белый	белый	белый
	плотность	плотный	средне-плотный	рыхлый	плотный	средний
Колосковая чешуя	форма	ланцетная	ланцетная	ланцетная	ланцетная	ланцетная
	опушение	неопушен	неопушен	неопушен	неопушен	неопушен
	длина зубца	короткий	короткий	короткий	короткий	короткий
	форма зубца	умеренно изогнутый	слегка изогнутый	умеренно изогнутый	сильно изогнутый	умеренно изогнутый
	форма, ширина плеча	скошенное, узкое	скошенное, узкое	скошенное, узкое	прямое, приподнятое, узкое	прямое, узкое
Зерновка	форма	полуудлиненная	полуудлиненная	полуудлиненная	полуудлиненная	полуудлиненная
	длина хохолка	короткий	короткий-средний	короткий	очень короткий	средний

На посевах ОС отбирали по 300–500 типичных колосьев и высевали их в питомниках испытания потомств первого года, где в течение вегетации проводится браковка семей (потомств) по признакам: Perezimovka, высота растений, выровненность, устойчивость к болезням и полеганию, морфологическим признакам колоса. Семьи, отличные от оригинала по любому

из вышеперечисленных признаков, бракуются. Оставшиеся семьи убираются по отдельности и проверяются методом экспрессной идентификации генотипа с помощью электрофореза. Эталонные спектры электрофорезов глицидинов новых четырех сортов пшеницы твердой озимой представлены на рисунке 3 и в таблице 5.

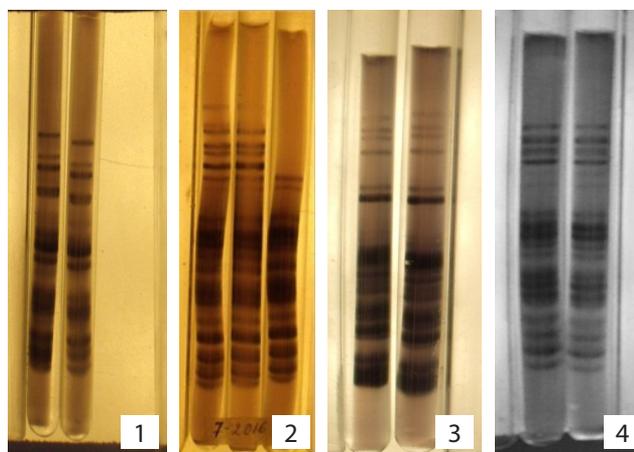


Рис. 3. Электрофореграммы глиадинов сортов пшеницы твердой озимой
 Яхонт (1), Юбилярка (2), Янтарина (3), Услава (4)
 Fig. 3. Electrophoregrams of gliadins of the winter durum wheat varieties
 'Yakhont' (1), 'Yubilyarka' (2), 'Yantarina' (3), 'Uslada' (4)

Таблица 5. Эталонные спектры глиадинов пшеницы твердой озимой
Table 5. Reference spectra of gliadins in winter durum wheat

№ п/п	Образец	Биотип		Глиадин					
		№	%	1А	1В	1D	6А	6В	6D
1	Яхонт	∑	100	3	2	–	3Т	2	–
2		16	95	3	2	–	3Т	2	–
3		примеси	3	5	2	–	3	2	–
4		примеси	2	5	1	–	1	2	–
1	Юбилярка	∑	100	13	2Т+6Т	–	3Т	1	–
2		16	54	13	2Т	–	3Т	1	–
3		26	44	4	6Т	–	3Т	1	–
		примеси	2	4	2Т	–	3Т	1	–
1	Янтарина	∑	100	5	2	–	4Т	1	–
2		16	100	2	2	–	4Т	1	–
1	Услава	∑	100	13х	4Т	–	3	2	–
2		16	98	13х	4Т	–	3	2	–
		примеси	2	4	2	–	3	2	–

Как видно из данных рисунка и таблицы, сорта имеют индивидуальные, четко отличимые спектры глиадинов, что облегчает их идентификацию. Сорта Яхонт, Янтарина, Услава мономорфны, состоят из одного биотипа (95, 100 и 98%), и он соответствует их суммарному спектру. Юбилярка – полиморфный сорт, состоящий из двух биотипов в соотношении: 16–54%, 26–44%. Их электрофоретические формулы глиадина: Яхонт – 3.2.3Т.2, Юбилярка – 13.2Т+6Т.3Т.1, Янтарина – 5.2.4Т.1, Услава – 13х.4Т.3.2.

Примесей не обнаружено только в сорте Янтарина.

Согласно полученным данным по полиморфизму глиадинов перспективных сортов пшеницы твердой озимой, семеноводство их направлено на поддержание установленного соотношения между биотипами, удаление примесей у сорта Юбилярка и удаления примесей у сортов Яхонт, Услава. В питомнике испытания потомств первого года по электрофоретическому анализу глиадина каждой семьи, генетически однородные объединяются и высеваются разреженно в питомнике 1 года размножения (так называемое «микроразмножение»), минуя питомник испытания потомств второго года, затем в питомники оригинальных семян 2-го и 3-го года. Использование электрофореза в процессе репродуцирования позволяет контролировать сортовую чистоту новых сортов.

Пшеница твердая озимая отличается от мягкой более высоким процентом открытого цветения, особенно при высоких темпе-

ратурах и суховейных явлениях в этот период. Вследствие чего возрастает степень спонтанной гибридизации, биологического засорения как мягкой озимой, так и другими, в первую очередь высокорослыми сортами твердой. Это необходимо учитывать в семеноводстве новых сортов во всех его звеньях.

Остальные приемы и методы первичного, элитного и производственного семеноводства (апробация, сертификация посевов, требования ГОСТа к качеству семян), разработанные для озимой мягкой, применимы и к новым сортам озимой твердой пшеницы.

Выводы. Перспективные сорта пшеницы твердой озимой характеризуются высокой продуктивностью, хорошим сочетанием устойчивости к абиотическим и биотическим стресс-факторам. Средняя урожайность за 4 года изучения в конкурсных испытаниях (2018–2021 гг.) составила: Яхонт – 8,19 т/га, Юбилярка – 7,92 т/га, Янтарина – 8,22 т/га и Услава – 8,37 т/га, максимальная в 2018 г. – 12,02; 12,67; 11,84 и 11,94 т/га (у стандарта Кристелла 8,02 и 11,82 т/га).

Для сохранения и поддержания основных признаков и свойств, присущих каждому сорту, ведется их семеноводство с комплексной оценкой как фенотипических (апробационных) признаков, так и генотипических с помощью белковых маркеров. Сорта Яхонт, Юбилярка, Янтарина и Услава имеют четко отличимые спектры глиадинов 3.2.3Т.2, 13.2Т+6Т.3Т.1, 5.2.4Т.1 и 13Х.4Т.3.2, что дает возможность контролировать их сортовую чистоту на всех этапах семеноводства.

Библиографические ссылки

1. Гаевая Э.А., Мищенко А.Е. Особенности водного режима озимой пшеницы на склоновых землях Ростовской области // Научное обеспечение АПК на современном этапе. 2015. С. 132–138.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Моргунов А.И., Зеленский Ю.И. Засухоустойчивой генофонд яровой твердой пшеницы, идентифицированный в многолетних испытаниях питомников казахстанско-сибирской селекции пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(5). С. 515–522.
4. Зотиков В.И. Зернобобовые и крупяные культуры – актуальное направление повышения качества продукции // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3(23). С. 3–11.

5. Кравченко Н.С., Самофалова Н.Е., Олдырева И.М., Макарова Т.С. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по качеству зерна и макаронным свойствам // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3(69). С. 26–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31.
6. Магомедов Н.Р., Магомедов Н.Н., Абдуллаев Ж.Н., Гаджиев М.М. Влияние приемов возделывания на продуктивность перспективного сорта озимой твердой пшеницы Крупинка в Дагестане // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 3–8.
7. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Содержание желтых пигментов в зерне твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.): биосинтез, генетический контроль, маркерная селекция // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(5). С. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642.
8. Фарниев А.Т., Базаева Л.М., Плиев М.А. Биоэкологические особенности новых сортов озимой твердой пшеницы для степной зоны РСО Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2010. Т. 47. № 1. С. 14–16.
9. Щипак Г.В., Недоступов Р.А., Щипак В.Г. Селекция озимой твердой пшеницы на повышение адаптивного потенциала и урожайности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. № 16(2). С. 455–463.
10. Kabbaj H., Sall A.T., Al-Abdallat A., Geleta M., Amri A., Filali-Maltouf A., Belkadi B., Ortiz R., Bassi F.M. Genetic diversity within a Global panel of durum wheat (*Triticum durum*) landraces and modern germplasm reveals the history of alleles exchange. *Front. Plant Sci.* 2017; 8: 1277. DOI 10.3389/fpls.2017.01277.

References

1. Gaevaya E.A., Mishchenko A.E. Osobennosti vodnogo rezhima ozimoi pshenitsy na sklonovykh zemlyakh Rostovskoi oblasti [Features of the winter wheat water regime on the sloping lands of the Rostov region] // Nauchnoe obespechenie APK na sovremennom etape. 2015. S. 132–138.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Morgunov A.I., Zelenskii Yu.I. Zasukhoustoichivoi genofond yarovoi tverdoi pshenitsy, identifikirovannyi v mnogoletnikh ispytaniyakh pitomnikov kazakhstansko-sibirskoi seleksii pshenitsy [Drought-resistant gene pool of spring durum wheat, identified in the long-term tests of nurseries of Kazakh-Siberian wheat breeding] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2017. № 21(5). S. 515–522.
4. Zotikov V.I. Zernobobovye i krupyanye kul'tury – aktual'noe napravlenie povysheniya kachestva produktivnosti [Leguminous and cereal crops as an urgent direction for improving product quality] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2017. № 3(23). S. 3–11.
5. Kravchenko N.S., Samofalova N.E., Oldyreva I.M., Makarova T.S. Kharakteristika sortov ozimoi tverdoi pshenitsy po kachestvu zerna i makaronnym svoistvam [Characteristics of the winter durum wheat varieties according to grain quality and pasta properties] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 3(69). S. 26–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31.
6. Magomedov N.R., Magomedov N.N., Abdullaev Zh.N., Gadzhiev M.M. Vliyanie priemov vozdeleyvaniya na produktivnost' perspektivnogo sorta ozimoi tverdoi pshenitsy Krupinka v Dagestane [The effect of cultivating methods on productivity of the promising winter durum wheat variety 'Krupinka' in Dagestan] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 4(70). S. 3–8.
7. Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G. Soderzhanie zheltykh pigmentov v zerne tverdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.): biosintez, genicheskii kontrol', markernaya selektsiya [Content of yellow pigments in durum wheat (*Triticum durum* Desf.): biosynthesis, genetic control, marker selection] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2020. № 24(5). S. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642.
8. Farniev A.T., Bazaeva L.M., Pliev M.A. Bioekologicheskie osobennosti novykh sortov ozimoi tverdoi pshenitsy dlya stepnoi zony RSO Alaniya [Bioecological features of the new winter durum wheat varieties for the steppe zone of North Ossetia Alania] // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2010. Т. 47. № 1. С. 14–16.
9. Shchipak G.V., Nedostupov R.A., Shchipak V.G. Seleksiya ozimoi tverdoi pshenitsy na povyshenie adaptivnogo potentsiala i urozhainosti [Winter durum wheat breeding to increase the adaptive potential and productivity] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2012. № 16(2). S. 455–463.
10. Kabbaj H., Sall A.T., Al-Abdallat A., Geleta M., Amri A., Filali-Maltouf A., Belkadi B., Ortiz R., Bassi F.M. Genetic diversity within a Global panel of durum wheat (*Triticum durum*) landraces and modern germplasm reveals the history of alleles exchange. *Front. Plant Sci.* 2017; 8: 1277. DOI 10.3389/fpls.2017.01277.

Поступила: 24.01.22; доработана после рецензирования: 18.02.22; принята к публикации: 21.02.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Безуглая Т.С. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Н.П. Иличкина, Н.В. Кабанова, А.С. Иванисова – подготовка и проведение полевого опыта по изучению сортов и перспективных линий в 2018–2021 гг.; М.М. Копусь – проведение лабораторных исследований; Н.Е. Самофалова – общее руководство, финальная доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРОДУКТИВНОСТЬ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОМСКОЙ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П.Н. Николаев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией селекции зернофуражных культур, nikolaev@anc55.ru, ORCID ID: 0000-0002-5192-2967;
О.А. Юсова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией биохимии и физиологии растений, yusova@anc55.ru, ORCID ID: 0000-0003-3679-8985;
Н.И. Аниськов², доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи и ячменя, ORCID ID 0000-0002-7819-8286;
И.В. Сафонова², кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи и ячменя, i.safonova@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0001-8138-930X

¹ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»,

644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26.

²ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42–44.

Новые создаваемые сорта должны быть не только высокоурожайными, но и адаптивными. В этом плане Омский аграрный центр, безусловно, является одним из лидеров селекции ячменя ярового (создано 23 сорта). Новые сорта должны отвечать как актуальным запросам сельхозтоваропроизводителей, так и агротехнологическим требованиям в соответствии с достижениями науки и производства. В этой связи цель наших исследований – определение параметров адаптивности омских сортов ячменя. Представлены результаты исследований 2015–2019 годов. Объект исследований: сорта и линии двурядной пленчатой группы Омский 95 (стандарт), Саша, Подарок Сибири, Омский 100, Омский 101, Мединум 4867, Нутанс 4883, Нутанс 4812; Многорядные пленчатые – Омский 99 (стандарт), Рикотензе 4885, Паллидум 4861; Многорядные голозерные – Омский голозерный 2 (стандарт), Омский голозерный 4. Проведены расчеты следующих параметров адаптивности: коэффициент адаптивности (по Животкову), коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (по Зыкину), стрессоустойчивость и компенсаторная способность (по Гончаренко), пластичность (по Баранскому и по Грязнову), вариабельность признака и коэффициент агрономической стабильности (по Доспехову). Окончательную оценку реакции сортов на условия возделывания необходимо проводить по сумме рангов, учитывая, что первый ранг самый высокий. Исследуемые сорта характеризовались урожайностью на уровне $5,2 \pm 0,97$ т/га. Отмечена достоверная прибавка у всех сортов ($+0,13 \dots +0,90$ т/га к ст.). Наибольший вклад в варьирование урожайности внесли условия года (65%); доля влияния генотипа сорта составила 19%. Согласно сумме рангов по проведенным исследованиям, для условий южной лесостепи Западной Сибири наиболее адаптивные в группе двурядных пленчатых следующие сорта: Саша, Омский 100, Омский 101 и линия Нутанс 4883 (сумма рангов = 45–49); в группе многорядных пленчатых – линия Рикотензе 4885 (сумма рангов = 46); в группе многорядных голозерных – Омский голозерный 2 (стандарт) и Омский голозерный 4 (сумма рангов = 86 и 87).

Ключевые слова: сорт, яровой ячмень, урожайность, адаптивность, пластичность, стабильность, стрессоустойчивость, ранг.

Для цитирования: Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Продуктивность и стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. Т. 14. № 2. С. 24–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-24-28.



PRODUCTIVITY AND STRESS RESISTANCE OF THE OMSK SPRING BARLEY VARIETIES IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

P.N. Nikolaev¹, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for breeding of grain and forage crops, nikolaev@anc55.ru, ORCID ID: 0000-0002-5192-2967;
O.A. Yusova¹, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for plant biochemistry and physiology, yusova@anc55.ru, ORCID ID: 0000-0003-3679-8985;
N.I. Aniskov², Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of genetic resources of oats, rye and barley, ORCID ID 0000-0002-7819-8286;
I.V. Safonova², Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of genetic resources of oats, rye and barley, i.safonova@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0001-8138-930X

¹Omsk Agricultural Research Center,

644012, Omsk, Akademik Korolev Av., 26;

²All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov, 190031, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44

Newly developed varieties should be not only highly productive, but also adaptable. In this regard, the Omsk Agricultural Center is certainly one of the leaders in spring barley breeding (23 varieties have been created). New vari-

eties should meet both the current needs of agricultural producers and agro-technological requirements in accordance with the achievements of science and production. In this regard, the purpose of the current study was to determine adaptability parameters of the Omsk barley varieties. There have been presented the study results of 2015–2019. The objects of the study were the two-row hulled varieties and lines 'Omsky 95' (standard), 'Sasha', 'Podarok Sibiri', 'Omsky 100', 'Omsky 101', 'Medikum 4867', 'Nutans 4883', 'Nutans 4812'; the multi-row hulled varieties and lines 'Omsk 99' (standard), 'Rikotense 4885', 'Pallidum 4861'; the multi-row hulled varieties and lines 'Omsk golozerny 2' (standard), 'Omsk golozerny 4'. There have been estimated such adaptability parameters as coefficient of adaptability (according to Zhivotkov), coefficient of responsiveness to favorable growing conditions (according to Zykin), stress resistance and compensatory ability (according to Goncharenko), adaptability (according to Baransky and Gryaznov), trait variability and coefficient of agronomic stability (according to Dospikhov). The final estimation of the response of varieties to cultivation conditions had to be carried out by the sum of the ranks, taking into account that the first rank was the highest. The studied varieties were characterized by productivity of 5.2 ± 0.97 t/ha. There was identified a significant increase for all varieties ($+0.13 \dots +0.90$ t/ha to standard). The greatest contribution to the yield variation was made by the year conditions (65%); the share of a variety genotype effect was 19%. According to the sum of ranks, for the southern forest-steppe of Western Siberia, the most adaptive varieties among the two-row hulled varieties and lines were 'Sasha', 'Omsky 100', 'Omsky 101' and 'Nutans 4883' (sum of ranks = 45–49). Among multi-row hulled varieties and lines it was 'Rikotense 4885' (sum of ranks = 46). Among the multi-row hulled varieties and lines they were 'Omsk golozerny 2' (standard), 'Omsk golozerny 4' (sum of ranks = 86 and 87).

Keywords: variety, spring barley, productivity, adaptability, stability, stress resistance, rank.

Введение. В настоящее время особо актуальной проблемой, требующей решения с точки зрения продовольственной безопасности страны, является создание и внедрение в аграрную отрасль высокопродуктивных конкурентоспособных сортов. Вновь создаваемые сорта должны быть не только высокоурожайными, но и адаптивными.

Создание нового сорта – это тонкая, кропотливая и многодесятилетняя работа. Помимо основных исполнителей процесса – селекционеров, для наделения сорта актуальными основополагающими признаками (урожайность, качество продукции, иммунитет, адаптивность, технологичность) привлекаются специалисты различных направлений (аналитики, агрохимики, семеноводы).

Достоверная и объективная оценка адаптивности сортов может быть достигнута путем испытания в контрастных условиях выращивания (Николаев и др., 2019; Юсова и др., 2020). По климатическим условиям Омская область характеризуется резко континентальным климатом, поэтому создание и правильный подбор сорта для определенной зоны возделывания, с учетом его экологической приспособленности, разрешит ему в полной мере реализовать свой биологический потенциал (Рыбась, 2016).

В этой связи цель исследований – оценка адаптивности сортов ячменя омской селекции.

Материалы и методы исследований. Представлены данные исследований с 2015 по 2019 г. (южная лесостепь Западной Сибири), методика общепринятая (Лоскутов и др., 2012).

Проведен анализ по следующим показателям: коэффициенты вариации (V), выравнивания (B) и дисперсионный анализ (Доспихов, 2011); устойчивость к стрессу ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и компенсаторная способность сорта ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) по Гончаренко А.А. (Трифунтова, Асеева, 2019); коэффициент адаптивности (К.А.) по Животкову Л.А. (Маркова, 2019); коэффициент экологической пластичности по Баранскому Д.И. (Николаев и др., 2019); показатель уровня стабильности сорта (ПУСС)

по Неттевичу Э.Д. (Давыдова и др., 1916); коэффициент отзывчивости на выращивания (Кр.) по Зыкину В.А. (Рыбась, 2016); индекс экологической пластичности (ИЭП) (Грязнов, 2019).

В целом за май–сентябрь оптимальные повлагообеспеченности периоды вегетации наблюдались в 2015, 2016 и 2019 гг. (ГТК = 1,0–1,2); избыточное – в 2018 г. (ГТК = 1,39); наиболее засушливые условия – в 2017 г. (ГТК = 0,77).

Результаты и их обсуждение. Беспристрастным, объективным, достоверным, интересующим параметром ценности сорта является его урожайность (Николаев и др., 2019; Юсова и др., 2020). Наибольший вклад в варьирование урожайности внесли условия года (фактор А) – 65%; доля влияния генотипа сорта (фактора В) составила 19%. Полученные результаты дают возможность выполнять последующие расчеты параметров адаптивности сортов.

Средняя за период исследований величина урожайности по культуре составила 4,97 т/га (табл. 1). Максимальная урожайность (7,19 т/га) получена у сорта Подарок Сибири (2019 г.), минимальная (2,10 т/га) – в 2016 г. у сорта Омский голозерный 1. Перспективны по урожайности новые линии в группе двурядных пленчатых – Медикум 4867, Нутанс 4883 и Нутанс 4812 ($+0,59 \dots +0,80$ т/га к ст.) и в группе многорядных пленчатых – Рикотензе 4885 и Паллидум 4861 ($+0,16$ и $+0,13$ т/га к ст.) в среднем за период исследований. Средняя изменчивость признака отмечена в группе многорядных пленчатых ($CV = 13,5 \dots 18,1\%$).

Одним из приемов вычисления адаптивности сортов к условиям возделывания является способ, предложенный Л.А. Животковым (Маркова, 2019). Превышали стандарт по коэффициенту адаптивности следующие сорта:

– группа двурядные пленчатые – Саша, Подарок Сибири, Омский 100, Омский 101, Медикум 4867, Нутанс 4883, Нутанс 4812 (К.А. = 105,3...111,3);

– группа многорядные пленчатые – Рикотензе 4885 и Паллидум 4861 (К.А. = 103,2 и 105,9);

– группа многорядные голозерные – Омский голозерный 4 (К.А. = 84,6).

Таблица 1. Характеристика омских сортов ярового ячменя по урожайности зерна, параметрам стрессоустойчивости и адаптивности
Table 1. Characteristics of the Omsk spring barley varieties according to grain productivity, stress resistance and adaptability parameters

Сорт	Урожайность, т/га		Параметры стрессоустойчивости		Параметры адаптивности						
	Lim.	\bar{x}	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$	К.А	О	CV	В	ПУСС	Кр.	ИЭП
Двурядные пленчатые											
Омский 95, ст.	2,24...5,80	4,82	-3,56	4,02	93,8	3,30	30,3	69,7	100,0	2,59	0,94
Саша	4,02...6,49	5,52	-2,47	5,26	107,4	4,70	21,0	79,0	165,2	1,61	1,07
Подарок Сибири	3,61...7,19	5,72	-3,58	5,40	111,3	4,11	24,3	75,7	148,0	1,99	1,11
Омский 100	3,96...6,55	5,46	-2,59	5,26	106,2	4,96	20,2	79,8	169,9	1,65	1,06
Омский 101	3,72...6,52	5,58	-2,80	5,12	108,6	4,76	21,0	79,0	167,0	1,75	1,08
Медикум 4867	3,61...6,54	5,47	-2,93	5,08	106,4	4,45	22,6	77,4	152,1	1,81	1,06
Нутанс 4883	3,78...7,11	5,62	-3,31	5,45	109,3	4,57	21,9	78,1	161,3	1,88	1,09
Нутанс 4812	3,63...6,71	5,41	-3,10	5,17	105,3	3,76	26,6	73,4	127,8	1,85	1,05
Многорядные пленчатые											
Омский 99, ст.	4,08...5,79	5,16	-1,71	4,94	100,4	7,48	13,5	86,5	100,0	1,42	1,00
Рикотензе 4885	3,94...5,89	5,32	-1,95	4,92	103,5	7,71	15,5	84,5	103,1	1,49	1,04
Паллидум 4861	3,83...6,30	5,29	-2,47	5,07	102,9	5,51	18,1	81,9	102,5	1,68	1,03
Многорядные голозерные											
Омский голозерный 2, ст.	2,75...5,05	4,06	-2,30	3,90	79,0	4,36	22,8	77,2	100,0	1,84	0,79
Омский голозерный 4	2,59...5,18	4,35	-2,59	3,89	84,6	4,10	24,4	75,6	107,1	2,00	0,85
НСР ₀₅	—	0,7	0,16	0,16	4,5	0,36	1,2	1,2	12,9	0,08	0,03

Повышенной стрессоустойчивостью характеризовались двурядные пленчатые сорта Саша и Омский 100 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -2,47$ и $-2,59$); стандарт многорядной пленчатой группы Омский 99 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -1,71$); стандарт многорядной голозерной группы Омский голозерный 2 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -2,30$).

Повышенные значения компенсаторной способности (степень реакции сорта на условия выращивания) отмечены у двурядного пленчатого сорта Подарок Сибири и линии Нутанс 4883 ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 5,40$ и $5,45$), линий Рикотензе 4885 и Паллидум 4861 ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 4,92$ и $5,07$).

Среди оригинальных методов определения пластичности практикуется метод, рекомендованный Баранским Д.И. (Николаев и др., 2019). Отслеживая формирование урожайности сортов, он установил их двойственное поведение в естественных условиях произрастания: часть сортов реагирует на варьирование окружающей среды, часть – нет. В группе двурядных пленчатых все исследуемые сорта и линии превышали стандарт по пластичности ($O = 3,76 - 4,96$). На уровне стандартов в группе многорядных пленчатых – сорт Рикотензе 4885 ($O = 7,71$), в группе многорядных голозерных – сорт Омский голозерный 4 ($O = 4,10$).

Коэффициент агрономической стабильности (B) является оптимальным при значении выше 70%. Данному уровню соответствовали все исследуемые сорта ($B = 73,4...86,5\%$). Превышали стандарт все сорта двурядной пленчатой группы ($B = 73,4...79,8\%$).

Согласно методу Неттевича Э.Д. (Давыдова и др., 1916), повышенная стабильность урожайности характерна для всех двурядных пленчатых сортов (ПУСС > 100%). Макси-

мальные показатели отмечены у сортов Саша, Омский 100, Омский 101 и линии Нутанс 4883 (ПУСС = 161,3–169,9%).

Ценным показателем при определении экологической пластичности является индекс экологической пластичности (ИЭП), представленный Грязновым А.А. (Грязнов, 2019). Максимальным значением данного показателя характеризовались: двурядный пленчатый сорт Подарок Сибири, многорядная пленчатая линия Рикотензе 4885 (ИЭП = 1,11) и многорядный голозерный сорт Омский голозерный 4 (ИЭП = 0,85).

Зыкин В.А. рекомендовал для измерения степени адаптивности сорта использовать коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды (Рыбась, 2016). Согласно проведенным исследованиям, двурядные пленчатые сорта по отзывчивости на улучшение условий возделывания имели показатели ниже стандарта. Превышали стандарт сорта многорядной пленчатой группы Рикотензе 4885 и Паллидум 4861 ($Kp. = 1,49$ и $1,68$), а также многорядный голозерный сорт Омский голозерный 4 ($Kp. = 2,0$).

Как видно из приведенных выше данных, различные методики оценки могут как характеризовать сорт с контрастных позиций (помогая, таким образом, составить объективную оценку), так и показывать противоречивые результаты по какому-то конкретному показателю. Безусловно, применение нескольких вариантов исследований позволяет получать наиболее информативную оценку по исследуемым параметрам. Однако в таком случае возникает вопрос правильной интерпретации полученных данных.

В настоящем исследовании при оценке адаптивности сортов также применялись не-

сколько методик, и окончательная оценка сортов проведена по сумме рангов (табл. 2).

Минимальная сумма рангов означает наибольшее проявление адаптивности сорта.

Таблица 2. Ранг сортов ячменя по параметрам адаптивности
Table 2. Rank of barley varieties according to adaptability parameters

Сорт	Ранг по параметрам									Сумма рангов
	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$	К.А	О	CV	В	ПУСС	Кр.	ИЭП	
Двурядные пленчатые										
Омский 95, ст.	10	11	11	13	12	12	13	2	11	95
Саша	4	3	4	6	5	5	6	12	4	49
Подарок Сибири	11	2	1	10	9	9	9	4	1	56
Омский 100	5	3	6	4	4	4	4	10	6	46
Омский 101	6	5	3	5	5	5	5	9	3	46
Медикум 4867	7	6	5	8	7	7	8	8	5	61
Нутанс 4883	9	1	2	7	6	6	7	5	2	45
Нутанс 4812	8	4	7	12	11	11	10	7	7	77
Многорядные пленчатые										
Омский 99, ст.	1	8	10	2	1	1	2	14	10	49
Рикотензе 4885	2	9	8	1	2	2	1	13	8	46
Паллидум 4861	4	7	9	3	3	3	3	11	9	52
Многорядные голозерные										
Омский голозерный 2, ст.	3	12	14	9	8	8	12	6	14	86
Омский голозерный 4	5	13	12	11	10	10	11	3	12	87

Разносторонний анализ сортов ячменя по уровню приспособленности в зависимости от меньшей суммы рангов позволил выявить наиболее адаптивные сорта для условий южной лесостепной зоны Омской области.

Двурядные пленчатые сорта – Саша, Омский 100, Омский 101 и линия Нутанс 4883 (сумма рангов = 45–49).

Многорядная пленчатая линия Рикотензе 4885 (сумма рангов = 46).

Многорядный голозерный сорт Омский голозерный 2 (ст.) и Омский голозерный 4 (сумма рангов = 86 и 87).

Выводы

1. Согласно проведенным исследованиям с 2015 по 2019 г., в условиях южной лесостепи Западной Сибири сорта ячменя селекции Омского аграрного научного центра характеризовались урожайностью на уровне $5,2 \pm 0,97$ т/га. Отмечена достоверная прибавка всех исследуемых сортов от +0,13 до +0,90 т/га к ст.

2. Согласно коэффициенту адаптивности (по Л.А. Животкову), превышали стандарт по данному показателю двурядные пленчатые сорта: Саша, Подарок Сибири, Омский 100, Омский 101, Медикум 4867, Нутанс 4883, Нутанс 4812 (К.А. = 105,3–111,3); многорядные пленчатые – Рикотензе 4885, Паллидум 4861 (К.А. = 103,2–105,9); многорядные голозерные – Омский голозерный 4 (К.А. = 84,6); по Зыкину В.А., адаптивны сорта многорядной пленчатой группы Рикотензе 4885 и Паллидум 4861 (Кр. = 1,5 и 1,7) и многорядный голозерный сорт Омский голозерный 4 (Кр. = 2,0).

3. Повышенной стрессоустойчивостью, по Гончаренко А.А., характеризовались двурядные пленчатые сорта Саша и Омский 100 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -2,5$ и $-2,6$); стандарт много-

рядной пленчатой группы сорт Омский 99 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -1,7$); стандарт Омский голозерный 2 ($Y_{\min} - Y_{\max} = -2,3$). Повышенная компенсаторная способность отмечена у двурядного пленчатого сорта Подарок Сибири и линии Нутанс 4883 ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 5,4$ и $5,5$).

4. По Баранскому Д.И., пластичны все двурядные пленчатые сорта и линии ($O = 3,8 \dots 5,0$); по Грязнову А.А., пластичны двурядный пленчатый сорт Подарок Сибири (ИЭП = 1,1), многорядная пленчатая линия Рикотензе 4885 (ИЭП = 1,0) и многорядный голозерный сорт Омский голозерный 4 (ИЭП = 0,9).

5. Согласно методике Доспехова Б.А., для многорядных пленчатых сортов характерна средняя изменчивость признака ($CV = 14 \dots 18\%$).

6. Максимально высокий коэффициент агрономической стабильности, по Доспехову Б.А., наблюдался у двурядных пленчатых сортов Подарок Сибири, Омский 100, Омский 101, Медикум 4867, Нутанс 4883 и Нутанс 4812 ($B = 73 \dots 80\%$); по Неттевичу Э.Д., максимальные показатели стабильности отмечены у сортов Саша, Омский 100, Омский 101 и линии Нутанс 4883 (ПУСС = 161,3...169,9%).

7. Согласно сумме рангов по проведенным исследованиям, для условий южной лесостепи Западной Сибири наиболее адаптивны следующие сорта:

– группа двурядных пленчатых: сорта Саша, Омский 100, Омский 101 и линия Нутанс 4883 (сумма рангов = 45...49).

– группа многорядных пленчатых: линия Рикотензе 4885 (сумма рангов = 46).

– группа многорядных голозерных: сорта Омский голозерный 2 (стандарт) и Омский голозерный 4 (сумма рангов = 86 и 87).

Библиографические ссылки

1. Грязнов А.А. Ячмень голозерный. Челябинск: ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2019. 384 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. Изд. 6-е, перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2011. 350 с.
3. Маркова И.Н. Оценка продуктивности и адаптивных свойств сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья // Научно-агрономический журнал. 2019. № 2(105). С. 35–37.
4. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobology.2016.5.617rus.
5. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012. 63 с.
6. Давыдова Н.В., Казаченко А.О., Малкина Т.П., Шарошкина Е.Е. Особенности использования озимых форм в селекции яровой мягкой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 9. С. 23–25.
7. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И. Агробиологическая характеристика многорядных голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180(1). С. 37–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
8. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181(2). С. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.

References

1. Gryaznov A.A. Yachmen' golozernyi [Hulled barley]. Chelyabinsk: FGBOU VO Yuzhno-Ural'skii GAU, 2019. 384 s.
2. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]: uchebnyk dlya studentov vysshikh sel'skokhozyaistvennykh uchebnykh zavedeniy po agronomicheskim spetsial'nostyam. Izd. 6-e, perepech. s 5-go izd. 1985 g. Moskva: Al'yans, 2011. 350 s.
3. Markova I.N. Otsenka produktivnosti i adaptivnykh svoystv sortov yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Estimation of productivity and adaptive properties of the spring bread wheat varieties in the Lower Volga region] // Nauchno-agronomicheskii zhurnal. 2019. № 2(105). S. 35–37.
4. Rybas' I.A. Povyshenie adaptivnosti v selektsii zernovykh kul'tur [Adaptability improvement in grain crop breeding] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2016. T. 51, № 5. S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobology.2016.5.617rus.
5. Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoi kolleksii yachmenya i ovsa [Methodical recommendations for the study and conservation of the world collection of barley and oats]. SPb.: VIR, 2012. 63 s.
6. Davydova N.V., Kazachenko A.O., Malkina T.P., Sharoshkina E.E. Osobennosti ispol'zovaniya ozimyykh form v selektsii yarovoi myagkoi pshenitsy [Features of the use of winter forms in the spring bread wheat breeding] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. T. 30, № 9. S. 23–25.
7. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Anis'kov N.I. Agrobiologicheskaya kharakteristika mnogoryadnykh golozernykh sortov yachmenya selektsii Omskogo ANTs [Agrobiological characteristics of multi-row hulled barley varieties developed in the Omsk ARC] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2019. № 180(1). S. 37–43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
8. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Izmenenie urozhainosti i kachestva zerna ovsa s povysheniem adaptivnosti sortov [Change in productivity and quality of oats with an adaptability increase of the varieties] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. № 181(2). S. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.

Поступила: 21.01.22; доработана после рецензирования: 25.02.22; принята к публикации: 02.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Николаев П.Н. – подготовка опыта; выполнение полевых опытов; Юсова О.А. – концептуализация исследования, выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Аниськов Н.И. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация; Сафонова И.В. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ГОРОХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ГИБРИДИЗАЦИИ И ФИЗИЧЕСКОГО МУТАГЕНЕЗА

Ф.А. Давлетов¹, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства зернобобовых культур, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

К.П. Гайнуллина^{1,2}, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, старший научный сотрудник лаборатории геномики растений, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

И.К. Каримов¹, руководитель ЧИШМИНСКОГО селекционного центра по растениеводству, k.ireck2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7105-4300

¹Башкирский НИИСХ – обособленное структурное подразделение ФГБНУ УФИЦ РАН, 450059, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, 19;

²Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ УФИЦ РАН, 450054, г. Уфа, проспект Октября, д. 71, лит. 1Е

Селекция новых высокопродуктивных, адаптивных, технологичных сортов гороха играет важную роль в увеличении фонда продовольственного белка. При этом ключевая роль принадлежит исходному материалу. Для создания исходного материала широко применяются методы гибридизации и мутагенеза. Межсортовая гибридизация позволяет получить гибридное потомство с сочетанием ценных признаков родительских форм. Однако основной проблемой современной селекции стало снижение генетического разнообразия культурных растений, в том числе гороха. Один из способов повышения генетического полиморфизма – применение индуцированного мутагенеза. Рентгеновское излучение является высокоэффективным физическим мутагеном, который с успехом применяется в мутационной селекции для повышения продуктивности культурных растений и приобретения ими новых признаков. В связи с этим целью нашей работы стало получение нового селекционного материала гороха с применением метода гибридизации и посредством воздействия ионизирующего излучения. Опыты проводились в 2011–2020 гг. в лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур БНИИСХ УФИЦ РАН. В качестве материала исследования были отобраны сорта и линии гороха местной селекции, а также сортообразцы из коллекции ВИР. Гибридизация проводилась на основе принципа генетической отдаленности родительских форм. Для индуцированного мутагенеза семена сортов Памяти Хангильдина и Аксайский усатый 55 подвергали воздействию различных доз рентгеновского излучения. В результате гибридизации был создан перспективный селекционный материал, характеризующийся высокой семенной продуктивностью, сокращенным вегетационным периодом, технологичностью. Гибридная линия Л-31315/14 передана на государственное сортоиспытание в 2019 г. как сорт Памяти Попова. Мутантные линии гороха Л-18 и Л-65, полученные из сорта Памяти Хангильдина, превысили по урожайности исходный сорт на 0,16 и 0,11 т/га, по содержанию белка – на 1,8 и 1,5% соответственно.

Ключевые слова: горох, исходный материал, гибридизация, мутагенез, рентгеновское излучение, урожайность.

Для цитирования: Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Каримов И.К. Создание исходного материала для селекции гороха с использованием методов гибридизации и физического мутагенеза // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 29–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-29-35.



DEVELOPMENT OF INITIAL MATERIAL FOR PEA BREEDING USING THE METHODS OF HYBRIDIZATION AND PHYSICAL MUTAGENESIS

F.A. Davletov¹, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for breeding and seed production of leguminous crops, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

K.P. Gainullina^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of leguminous crops, senior researcher of the laboratory for plant genomics, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

I.K. Karimov¹, head of the Chishminsky Horticultural Selection Centre, k.ireck2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7105-4300

¹Bashkiria RIA of the FSBSI Ufa Federal Research Center RAS, 450059, Ufa, Rikhard Zorge Str., 19;

²Institute of Biochemistry and Genetics, a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ural Federal Research Center of the RAS, 450054, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, lit. 1E

Breeding of new highly productive, adaptive, technologically advanced pea varieties plays an important role in increasing the fund of food protein. In this case, the key role belongs to the initial material. Hybridization and mutagenesis methods are widely used to develop initial material. Intervarietal hybridization allows developing hybrid progeny with a combination of valuable traits of parental forms. However, the main problem of current breeding has become a decrease in the genetic diversity of cultivated plants, including peas. One of the ways to improve genetic polymorphism

is the use of induced mutagenesis. X-ray radiation is a highly effective physical mutagen, which is successfully used in mutation breeding to improve productivity of cultivated plants and obtain new traits. In this regard, the purpose of the current work was to identify a new pea breeding material using the hybridization method and ionizing radiation. The trials were carried out in 2011–2020 in the laboratory for breeding and seed production of leguminous crops of the BRIA of the FSBSI UFRC RAS. There were selected the varieties and lines of local peas, as well as the VIR collection variety samples as the material for the study. Hybridization was carried out according to the principle of genetic remoteness of parental forms. For induced mutagenesis, the seeds of the varieties 'Pamyati Khangildina' and 'Aksaisky Usatyi 55' were subjected to various doses of X-ray radiation. As a result of hybridization, there has been developed a promising breeding material characterized by large seed productivity, a shortened growing season, and manufacturability. The hybrid line 'L-31315/14' was sent to the State Variety Testing in 2019 as a variety 'Pamyati Popova'. The mutant pea lines 'L-18' and 'L-65', developed from the variety 'Pamyati Khangildina', exceeded the initial variety on 0.16 and 0.11 t/ha in productivity, and on 1.8 and 1.5%, respectively, in protein.

Keywords: peas, initial material, hybridization, mutagenesis, X-ray radiation, productivity.

Введение. Сорты гороха, возделываемые в условиях Республики Башкортостан, недостаточно устойчивы к засухе, переувлажнению и чувствительны к болезням и вредителям, что обуславливает нестабильность урожайности зерна по годам. В Башкирском НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН селекционную работу с горохом проводят в направлении создания скороспелых, высокоурожайных, технологичных, адаптивных к местным условиям сортов. Общим требованием к новым сортам является высокое качество продукции, устойчивость к полеганию и осыпанию семян. Для создания исходного материала в лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур института используются межсортовая гибридизация и индуцированный мутагенез.

Межсортовая гибридизация позволяет повысить генотипическую изменчивость за счет получения новых комбинаций аллелей. Таким образом, гибридные растения совмещают в себе как признаки родительских форм, так и новые свойства (Цыганок, 2014; Бобков и Селихова, 2015; Davletov et al., 2020). С применением метода межсортовой гибридизации получено большинство возделываемых в производстве сортов. В селекционной работе с горохом в Башкирском НИИСХ подбор родительских форм для скрещиваний производится из различных эколого-географических групп, что дает возможность совместить в гибридах широкий спектр ценных хозяйственно-биологических свойств (Давлетов и др., 2020).

В последние годы с развитием атомной промышленности, открытием новых химически активных веществ, вызывающих изменения в генетическом материале, во многих зарубежных странах все шире стали применяться методы индуцированного мутагенеза с целью получения новых наследственных форм, имеющих селекционное значение (Bahadur et al., 2015; Spencer-Lopes et al., 2018). Как показывают многочисленные исследования, экспериментальный мутагенез может применяться для создания ценного для селекции исходного материала (Rahman et al., 2014; Arvind et al., 2017; Li et al., 2018). С 2012 г. в лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур Башкирского НИИСХ УФИЦ РАН изучается селекционный материал, полученный в результате воздействия различных мутагенных факторов.

Цель работы – создать исходный материал для селекции высокоурожайных, технологичных и адаптивных к местным природно-климатическим условиям сортов гороха с применением гибридизации и ионизирующего излучения.

Задачи:

- оценка хозяйственно-биологических признаков сортообразцов гороха, отбор лучших из них для использования в гибридизации;
- селекционная проработка гибридов, выделение перспективных форм, их оценка;
- изучение лучших номеров в конкурсном сортоиспытании;
- создание нового селекционного материала под воздействием рентгеновского излучения;
- выделение перспективного материала гороха, отвечающего требованиям селекции, его испытание и оценка.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2011–2020 годах. Селекционные питомники были заложены на опытных полях БНИИСХ УФИЦ РАН в Чишминском районе Республики Башкортостан, где преобладают карбонатные черноземы с содержанием в верхнем слое почвы 8,2% гумуса, 42 мг обменного и водорастворимого калия и 23 мг окиси фосфора на 100 г почвы.

Погодные условия в 2011–2020 гг. были контрастными: по уровню влагообеспеченности острозасушливыми были 2013 (ГТК = 0,38) и 2018 (ГТК = 0,52) гг., засушливыми – 2011 (ГТК = 0,81), 2012 (ГТК = 0,81), 2014 (ГТК = 0,73), 2015 (ГТК = 0,65), 2016 (ГТК = 0,75), 2017 (ГТК = 0,85) и 2019 (ГТК = 0,67) гг., влажным – 2020 (ГТК = 1,30) год.

Материалом для исследования послужили сорта и линии гороха местной селекции, и сортообразцы, полученные из генофонда ВИР.

При гибридизации проводили скрещивания в полевых условиях в начале фазы бутонизации. В качестве доноров пыльцы использовали раскрывшиеся цветки. Опыленные цветки отмечали красными сигнальными лентами. Селекционный материал изучали в полевых условиях в питомниках различного уровня. Площадь делянки коллекционного питомника – 1,0–2,0 м², гибридного и селекционного питомника первого года – 0,3–1,0 м², селекционного питомника второго года – 2,0–3,0 м², контрольного питомника – 5,0 м², предварительного

и конкурсного сортоиспытания – 12,5 и 25,0 м² соответственно. В период вегетации за растениями гороха проводились фенологические наблюдения, после уборки – морфоструктурный анализ, для которого отбирали по 25 растений с каждой опытной делянки.

Для индуцированного мутагенеза воздушно-сухие семена сортов Памяти Хангильдина, Аксайский усатый 55 по 1000 шт. подвергали воздействию рентгеновских лучей с использованием рентгеновского аппарата КРДЦ-Т20/Т2000 «Ренекс» в следующих дозах: минимальная – 105 рад, средняя – 107 рад, максимальная – 1010 рад (Bahadur et al., 2015). На второй день после облучения семена высевались в поле. Норма высева – 20 семян на 1 погонный метр. В период вегетации растений М1 и последующих поколений мутантов проводили фенологические наблюдения. Этикетками отмечали растения, отклоняющиеся по морфологиче-

ским и селекционно-важным признакам от исходного сорта. Количество мутантов подсчитывали как отношение количества мутантных семей в М3 к общему числу анализированных растений в М2 (в %).

Фенологические наблюдения и оценки были проведены по методике Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985), статистический анализ полученных данных – по Б.А. Доспехову (1985).

Результаты и их обсуждение. В 2011–2020 гг. для гибридизации использовали сортообразцы с контрастным проявлением признаков, определяющих их продуктивность и хозяйственно-биологическую ценность, что значительно увеличивает вероятность получения высокопродуктивных, технологичных форм. Данные об объемах гибридизации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Объемы гибридизации гороха в 2011–2020 гг.
Table 1. Pea hybridization volumes in 2011–2020

Год	Количество сортообразцов, шт.				Количество полученных гибридных комбинаций, шт.	Завязываемость бобов, %	Количество полученных гибридных семян, шт.
	местной селекции	инорайонной (отечественной) селекции	зарубежной селекции	всего			
2011	82	42	40	164	163	47,7	7127
2012	52	28	11	91	113	24,9	2137
2013	42	49	50	141	128	28,6	2820
2014	55	30	14	99	110	40,5	3615
2015	60	42	36	138	135	43,7	4244
2016	45	42	41	128	107	46,2	3865
2017	43	50	50	143	132	33,1	3332
2018	28	18	22	68	65	30,5	906
2019	52	32	12	96	113	34,2	2832
2020	31	27	24	82	94	31,4	2332
Всего	490	360	300	1150	1160	–	33210
В среднем	49,0	36,0	30,0	115,0	116,0	–	3321,0
в %	42,6	31,3	26,1	100,0	–	–	–

Как видно из таблицы, в среднем за 2011–2020 гг. в гибридизацию было вовлечено 115 сортообразцов, в том числе 49 (42,6%) местной селекции, и получено 116 новых гибридных комбинаций. Завязываемость бобов по годам варьировала от 24,9 до 46,2%. В среднем в год получали 3321 шт. гибридных семян.

В результате скрещивания сортов местной селекции с сортами инорайонной (отечественной селекции) было создано большое количество скороспелых высокопродуктивных линий. Так, при скрещивании раннеспелого сорта Чишминский 95 со среднеспелым сортом Усач был получен гибрид с сокращенной продолжительностью вегетационного периода, из которого в дальнейшем был выведен скороспелый сорт Памяти Хангильдина.

Среди гибридов, полученных в результате скрещиваний в 2011–2020 гг., методом многократного индивидуального отбора была выделена группа скороспелых, высокопродуктивных, технологичных сортов и линий го-

роха зернового направления использования: Памяти Хангильдина, Памяти Попова, Л-30680, Л-30678, Л-31628, Л-31118, Л-31045, Л-31806, Л-31809, Л-30, Л-31980 и др. Оценка новых сортов и линий, полученных в результате селекции на скороспелость и высокую продуктивность на основе скрещивания генетически отдаленных форм, показала их превосходство над возделываемыми сортами по ряду селекционно-важных признаков (табл. 2).

Важнейшим биологическим свойством растений является длина вегетационного периода. Наибольшие сортовые различия по продолжительности периода вегетации были отмечены нами в 2018 г., который характеризовался острым дефицитом осадков, что привело к сокращению данного периода у исследуемых сортообразцов на 5–6 суток. В среднем за 2018–2020 гг. наименьшая продолжительность вегетационного периода была отмечена у линий Л-31806, Л-30 (60 суток), наибольшая – у линий Л-31628, Л-31980 (68 суток).

Таблица 2. Показатели селекционно-важных признаков сортов и перспективных линий гороха (КСИ, в среднем за 2018–2020 гг.)
Table 2. Indicators of breeding-important traits of pea varieties and promising lines (CVT, mean in 2018–2020)

Сорт, линия	Продолжительность периода всходы – созревание, сут.	Урожайность семян, т/га	Отклонение от стандарта, ± т/га	Содержание белка в семенах, %
Листочковый морфотип				
Чишминский 95 – ст. 1	66	2,01	–	22,0
Л-30680	67	2,16	+0,15	21,8
Л-30678	67	2,20	+0,19	22,1
Л-31628	68	2,12	+0,11	22,3
НСР ₀₅	–	–	0,093	–
Усатый морфотип				
Памяти Хангильдина – ст. 2	65	1,85	–	22,1
Памяти Попова	67	2,17	+0,32	22,3
Л-31118	67	1,97	+0,12	22,5
Л-31045	67	1,92	+0,07	22,8
Л-31806	66	2,06	+0,21	22,0
Л-31809	67	2,13	+0,28	22,0
Л-30	66	2,19	+0,34	21,7
Л-31980	68	2,12	+0,27	22,1
НСР ₀₅	–	–	0,098	–

Главный показатель хозяйственной ценности сортообразца – его урожайность. Данный признак определяется числом плодоносящих растений с единицы площади и их продуктивностью. Выживаемость растений в проведенном нами исследовании составляла: 80,9–85,8% в 2018 г., 77,9–84,3% в 2019 г., 80,6–86,0% в 2020 году. В соответствии с полученными данными, которые приведены в таблице 2, среди линий с усатым типом листа наиболее высокую продуктивность и прибавку урожая показали линии Л-30 (+0,34 т/га), Л-31809 (+0,28 т/га), Л-31980 (+0,27 т/га), Л-31806 (+0,21 т/га) и сорт Памяти Попова (+0,32 т/га). Содержание белка в семенах перспективных линий было на уровне стандарта. Среди линий листочкового морфотипа высокими показателями продуктивно-

сти характеризовались линии Л-30678, Л-30680. Прибавка урожая по сравнению с сортом-стандартом Чишминский 95 у них составляла 0,19 и 0,15 т/га соответственно.

Как известно, урожайность зависит от таких параметров, как число фертильных узлов на растении, число бобов на плодущий узел, число семян в бобе, крупность семян. Наибольшим числом бобов на растении в среднем за годы нашего исследования отличались линии Л-31809, Л-31980, Л-30, Л-31806. Наименьшими значениями этого признака обладали линии Л-30680, Л-31045, сорт Памяти Попова. Максимальной озерненностью бобов характеризовался сорт Памяти Попова. Данному сорту несколько уступили по числу семян в бобе линии Л-31118, Л-31045, Л-31806 (табл. 3).

Таблица 3. Показатели продуктивности сортов и перспективных линий гороха, КСИ (в среднем за 2018–2020 гг.)
Table 3. Indicators of productivity of pea varieties and promising lines (CVT, mean in 2018–2020)

Сорт, линия	Количество, шт.			Масса, г	
	бобов на растении	семян в бобе	семян с растения	семян с растения	1000 семян
Листочковый морфотип					
Чишминский 95 – ст. 1	4,0±0,3*	3,8±0,2*	15,0±1,1*	3,42±0,35*	210,3±7,1*
Л-30680	3,4±0,2	3,9±0,3	13,3±1,0	3,81±0,22	261,0±14,6
Л-30678	4,0±0,3	4,3±0,3	17,1±1,2	4,64±0,39	246,5±9,3
Л-31628	3,9±0,2	4,3±0,3	17,1±1,3	4,51±0,31	233,7±8,2
Усатый морфотип					
Памяти Хангильдина – ст. 2	4,0±0,3	3,9±0,2	15,6±1,2	3,94±0,30	223,4±8,0
Памяти Попова	3,7±0,2	4,9±0,3	18,1±1,3	4,18±0,35	198,8±5,8
Л-31118	4,1±0,3	4,4±0,2	18,2±1,5	4,64±0,31	226,0±7,6
Л-31045	3,6±0,2	4,4±0,3	15,7±1,3	3,97±0,29	183,7±5,0
Л-31806	4,2±0,3	4,3±0,3	18,0±1,6	4,63±0,36	225,3±8,5
Л-31809	4,5±0,4	4,2±0,3	19,0±1,7	4,96±0,39	214,5±7,5
Л-30	4,3±0,3	3,8±0,2	16,4±1,3	4,31±0,31	213,8±6,0
Л-31980	4,4±0,3	3,8±0,2	16,9±1,4	4,22±0,28	227,1±7,9

* $X_{cp} \pm Sx_{cp}$.

В проведенном нами в 2018–2020 гг. исследовании наибольшей массой 1000 семян отличались линии Л-30680, Л-30678, несколько меньшие показатели данного признака были отмечены у Л-31628, Л-31980, Л-31118, Л-31806. Минимальной массой 1000 семян обладала линия Л-31045. Наибольшей семенной продуктивностью характеризовались линии Л-31809 ($4,96 \pm 0,39$ г), Л-31118 ($4,64 \pm 0,31$ г), Л-30678 ($4,64 \pm 0,39$ г), Л-31806 ($4,63 \pm 0,36$ г). Масса семян с растения у линий Л-30680, Л-31045, Л-31980, Л-30, Л-31628 колебалась от $3,81 \pm 0,22$ до $4,51 \pm 0,31$ г.

В результате анализа полученных данных установлено, что в среднем за 3 года семенная продуктивность изученных линий была высокой, содержание белка в семенах – на уровне стандартных сортов. Урожайность в большей степени зависела от массы семян с растения. Линии с листовым морфотипом по массе семян с растения превосходили сорт-стандарт Чишминский 95 на 11,4–35,7%, с усатым морфотипом – сорт-стандарт Памяти Хангильдина на 0,8–25,9%.

Таким образом, многолетняя селекционная работа с применением метода гибридизации и последующих отборов позволила нам создать ряд перспективных линий гороха: Л-30680, Л-30678, Л-31628, Л-31118, Л-31045, Л-31806, Л-31809, Л-30, Л-31980, а также сорт Памяти Попова, переданный в государственное сортоиспытание в 2019 году. Среди них были выделены ценные источники селекционно важных признаков: большого количества бобов на растении: Л-31806, Л-30, Л-31980, Л-31809; высокой озерненности боба: Л-30678, Л-31628, Л-31118,

Л-31045, сорт Памяти Попова; крупносемянности: Л-30678, Л-30680; большого количества семян с растения: Л-31806, Л-31118, Л-31809, сорт Памяти Попова; высокой семенной продуктивности: Л-31806, Л-31118, Л-30678, Л-31809; неосыпаемости семян: Л-31118, Л-31045, Л-31806, Л-31809, Л-31980, Л-30680, Л-30678, Л-31628; устойчивости к полеганию: Л-30, Л-31045, Л-31980 с коэффициентом устойчивости к полеганию более 80%. Выделенные нами сортообразцы являются перспективным селекционным материалом для выведения новых высокоурожайных технологичных сортов гороха зернового направления.

В последнее время в нашей стране заметно вырос интерес к разработке и использованию новых методов в селекции. Прежде всего это обусловлено тем, что отбор и гибридизация в ряде случаев недостаточно эффективны. Экспериментальный мутагенез позволяет получить в течение короткого промежутка времени большое разнообразие наследственно измененных форм растений. На протяжении нескольких лет нами было получено и изучено большое количество мутантных форм гороха, часть которых превосходила исходный сорт по одному (чаще всего по массе 1000 семян) или нескольким хозяйственно-ценным признакам (скороспелость, устойчивость к полеганию и осыпанию семян, высокое содержание белка в семенах), при этом не уступая ему по семенной продуктивности. В настоящее время в сортоиспытании имеется ряд линий, выделенных из мутантов, индуцированных ионизирующим излучением (табл. 4).

Таблица 4. Характеристика перспективных гибридных сортов и мутантных линий гороха, КСИ (в среднем за 2018–2020 гг.)
Table 4. Characteristics of promising hybrid pea varieties and mutant lines (CVT, mean in 2018-2020)

Сорт, линия	Продолжительность вегетационного периода, сут.	Масса 1000 семян, г	Урожайность семян, т/га	Отклонение от стандарта, \pm т/га	Содержание белка в семенах, %	Отклонение от стандарта, \pm %
Памяти Хангильдина – ст.	65	223	1,85	–	22,1	–
Чишминский 95	66	210	2,01	+0,16	22,0	-0,1
Чишминский 229	68	225	2,09	+0,24	22,5	+0,4
Памяти Попова	67	198	2,17	+0,32	22,3	+0,2
Л-18 (мутант сорта Памяти Хангильдина)	67	260	2,01	+0,16	23,9	+1,8
Л-19 (мутант сорта Памяти Хангильдина)	66	165	1,80	-0,05	22,5	+0,4
Л-52 (мутант сорта Аксайский усатый 55)	64	220	1,82	-0,03	22,1	-0,1
Л-65 (мутант сорта Памяти Хангильдина)	67	245	1,96	+0,11	23,6	+1,5
НСР ₀₅	–	–	–	0,098	–	–

В соответствии с данными, представленными в таблице 4, лучшие мутантные формы по урожайности не уступают стандартному сорту. По содержанию белка в семенах мутантные линии Л-18, Л-65, полученные из сорта Памяти Хангильдина, за годы исследования превысили его показатели на 1,8 и 1,5% соответственно.

Кроме того, в наших опытах линия Л-18 в среднем за 2018–2020 гг. превзошла исходный сорт по урожайности семян на 0,16 т/га. Этот мутант характеризуется высокой массой 1000 семян (260 г), созревает на 2 суток позже сорта Памяти Хангильдина.

Таким образом, выделенные мутантные линии, обладающие ценными признаками и свойствами, могут использоваться в скрещиваниях как доноры этих признаков или служить исходным материалом для создания новых высокоурожайных, технологичных сортов гороха.

Выводы. В результате многолетней селекционной работы был достигнут значительный прогресс в улучшении сортов гороха по продуктивности, технологичности, устойчивости к неблагоприятным факторам среды. Потенциальная урожайность новых сортов гороха селекции Башкирского НИИСХ УФИЦ РАН в производстве составляет 4,2–4,5 т/га. Новые перспективные линии, полученные методом гибридизации и мутагенеза, сочетают признак неосыпаемости семян с усатым морфотипом и относительно коротким стеблем. Это гибридные линии Л-31118, Л-31045, Л-31806, Л-31809, Л-30, Л-31980 и мутантные линии Л-18, Л-19, Л-52, Л-65, полученные путем воздействия

ионизирующего излучения на семена гороха сорта Памяти Хангильдина. Многие из них обладают ценными хозяйственно-биологическими признаками и могут быть использованы в качестве исходного материала для селекции гороха. Так, продуктивные мутанты Л-18, Л-65 в среднем за 3 года испытаний превзошли сорт-стандарт Памяти по урожайности зерна на 0,11–0,16 т/га, по содержанию протеина в семенах – на 1,5–1,8%. Остальные мутантные линии по данным признакам не уступают исходному сорту и характеризуются коротким вегетационным периодом. Таким образом, выделенные нами линии имеют теоретическую и практическую ценность для создания новых высокопродуктивных, технологичных сортов гороха.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России №FMRS-2022-0063.

Библиографические ссылки

1. Бобков С.В., Селихова Т.Н. Получение межвидовых гибридов для интрогрессивной селекции гороха // Экологическая генетика. 2015. № 13(3). С. 40–49. DOI: 10.17816/ecogen13340-49.
2. Давлетов Ф.А., Нигматуллина Г.М., Гайнуллина К.П., Плешков А.В., Сафин Ф.Ф. Новый сорт зернового гороха Памяти Попова // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 61–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-61-65.
3. Цыганок Н.С. О гибридизации в практической селекции овощных сортов гороха и фасоли: ретроспектива и перспектива // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 1. С. 26–31. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.1.26eng.
4. Arvind K., Chaurasia A.K., Marker S., Shukla P.K., Rai P.K., Verma P.K., Bara B.M. Effect of gamma radiation on macro mutations, their effectiveness and efficiency in pea (*Pisum sativum* L.) // Agricultural Research Journal. 2017. 54(2). P. 261–261. DOI: 10.5958/2395-146X.2017.00047.3.
5. Bahadur B., Rajam M.V., Leela S., Krishnamurthy K.V. Plant biology and biotechnology. I. Plant diversity, organization, function and improvement. New Delhi; Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, 2015. 832 p. DOI: 10.1007/978-81-322-2286-6.
6. Davletov F.A., Gainullina K.P., Safin F.F. Inheritance of seed size by hybrid populations of pea (F1, F2) // BIO Web of Conferences. 2020. № 17. P. 00090. DOI: 10.1051/bioconf/20201700090.
7. Li S., Liu S.M., Fu H.W., Huang J.Z., Shu Q.Y. High-resolution melting-based TILLING of γ ray-induced mutations in rice // Journal of Zhejiang University-Science B. 2018. 19(8). P. 620–629. DOI: 10.1631/jzus.B1700414.
8. Rahman S.M., Takagi Y., Miyamoto K., Kawakita T. High stearic acid soybean mutant induced by X-ray irradiation // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2014. 59(5). P. 922–923. DOI: 10.1271/bbb.59.922.
9. Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski, L. Manual on Mutation Breeding. 3rd ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 301 p.

References

1. Bobkov S.V., Selikhova T.N. Poluchenie mezvidovykh gibridov dlya introgressivnoi selektsii gorokha [Obtaining interspecific hybrids for introgressive pea breeding] // Ekologicheskaya genetika. 2015. № 13(3). S. 40–49. DOI: 10.17816/ecogen13340-49.
2. Davletov F.A., Nigmatullina G.M., Gainullina K.P., Pleshkov A.V., Safin F.F. Novyi sort zernovogo gorokha Pamyati Popova [A new grain peas variety 'Pamyati Popova'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 2(68). S. 61–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-61-65.
3. Tsyganok N.S. O gibridizatsii v prakticheskoi selektsii ovoshchnykh sortov gorokha i fasoli: retrospektiva i perspektiva [On hybridization in practical breeding of vegetable peas and beans varieties: retrospective and perspective] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2014. № 1. S. 26–31. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.1.26eng.
4. Arvind K., Chaurasia A.K., Marker S., Shukla P.K., Rai P.K., Verma P.K., Bara B.M. Effect of gamma radiation on macro mutations, their effectiveness and efficiency in pea (*Pisum sativum* L.) // Agricultural Research Journal. 2017. 54(2). P. 261–261. DOI: 10.5958/2395-146X.2017.00047.3.
5. Bahadur B., Rajam M.V., Leela S., Krishnamurthy K.V. Plant biology and biotechnology. I. Plant diversity, organization, function and improvement. New Delhi; Heidelberg; New York; Dordrecht; London: Springer, 2015. 832 p. DOI: 10.1007/978-81-322-2286-6.
6. Davletov F.A., Gainullina K.P., Safin F.F. Inheritance of seed size by hybrid populations of pea (F1, F2) // BIO Web of Conferences. 2020. № 17. P. 00090. DOI: 10.1051/bioconf/20201700090.
7. Li S., Liu S.M., Fu H.W., Huang J.Z., Shu Q.Y. High-resolution melting-based TILLING of γ ray-induced mutations in rice // Journal of Zhejiang University-Science B. 2018. 19(8). P. 620–629. DOI: 10.1631/jzus.B1700414.

8. Rahman S.M., Takagi Y., Miyamoto K., Kawakita T. High stearic acid soybean mutant induced by X-ray irradiation // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2014. 59(5). P. 922–923. DOI: 10.1271/bbb.59.922.

9. Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski, L. *Manual on Mutation Breeding*. 3rd ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 301 p.

Поступила: 25.01.22. доработана после рецензирования: 04.03.22; принята к публикации: 15.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Давлетов Ф.А. – концептуализация исследования, подготовка опыта; Каримов И.К. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СКРИНИНГ МИРОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫМ БОЛЕЗНЯМ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Э.А. Конькова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням, ORCID ID: 0000-0001-8607-2301;

С.В. Лящева, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. селекционным центром, ORCID ID: 0000-0002-6790-0770;

А.И. Сергеева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-3697-7660
ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»,
410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, 7

В статье представлены результаты изучения коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы. Цель исследований – скрининг мировой коллекции озимой мягкой пшеницы по устойчивости к болезням в Нижневолжском регионе. Исследования проводили на базе ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока» (г. Саратов). В 2017–2021 гг. в полевых условиях проведена оценка устойчивости 152 образцов озимой мягкой пшеницы к основным возбудителям заболеваний. Образцы высевали в оптимальные сроки сеялкой ССФК-8 на делянках площадью 3 м² в однократной повторности. Норма высева семян – 450 всхожих семян/м². Материалом исследований являлись сортообразцы мировой коллекции озимой мягкой пшеницы ВИР (селекционных центров США, Канады, Украины, Словакии, Латвии, Венгрии и др.), а также образцы отечественной селекции (ФАНЦ Юго-Востока, НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, Северо-Кавказский ФНАЦ и др.). Выявлены наиболее вредоносные листовые заболевания: бурая (*Puccinia triticina* Erikss.) и стеблевая (*Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*) ржавчины, септориоз (*Septoria tritici* Rob. et Desm.) и желтая пятнистость листьев (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Drechsler). Охарактеризована устойчивость коллекции озимой мягкой пшеницы к комплексу листовых заболеваний. Выделено два образца с групповой устойчивостью к бурой и стеблевой ржавчинам, септориозу и пиренофорозу; один образец, устойчивый к бурой и стеблевой ржавчинам; три образца, устойчивые к стеблевой ржавчине и септориозу; один образец, толерантный к бурой и стеблевой ржавчинам и септориозу; шесть образцов, устойчивых к септориозу и пиренофорозу.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, мировая коллекция, поражение, устойчивость к заболеваниям.

Для цитирования: Конькова Э.А., Лящева С.В., Сергеева А.И. Скрининг мировой коллекции озимой мягкой пшеницы по устойчивости к листовым заболеваниям в условиях Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 36–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-36-40.



SCREENING OF THE WORLD WINTER BREAD WHEAT COLLECTION FOR LEAF-STEM DISEASE RESISTANCE IN THE LOWER VOLGA REGION

E.A. Konkova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant disease immunity, ORCID ID: 0000-0001-8607-2301;

S.V. Lyashcheva, Candidate of Agricultural Sciences, head of the breeding center, ORCID ID: 0000-0002-6790-0770;

A.I. Sergeeva, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3697-7660
Federal Agricultural Research Center of South-East,
410010, Saratov, Tulaykov Str., 7

The current paper has presented the study results of collection winter bread wheat samples. The purpose of the study was to screen the world collection of winter bread wheat for disease resistance in the Nizhnevolzhsky region. The study was carried out on the basis of the FSBSI "Federal Agricultural Research Center of the South-East" (Saratov). In 2017–2021 there was conducted an estimation of the resistance of 152 winter bread wheat samples to the main pathogens. The samples were sown at the optimal time with the SSFC-8 seeder on plots of 3 m² in a single repetition. The seeding rate was 450 germinating seeds per m². There have been studied the world collection varietal samples of winter bread wheat VIR (from breeding centers of the USA, Canada, Ukraine, Slovakia, Latvia, Hungary, etc.), as well as the samples of domestic breeding (FANC of the South-East, NTsZ named after P.P. Lukyanenko, Severokavkazsky FNATS, etc.). There have been identified the most harmful leaf-stem diseases, such as brown rust (*Puccinia triticina* Erikss.) and stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*), septoria (*Septoria tritici* Rob. et Desm.) and yellow leaf blotch (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Drechsler). There has been characterized the resistance of the winter bread wheat collection to the complex of leaf-stem diseases. There have been identified two samples with group resistance to brown and stem rusts, septoria and pyrenophorosis; one sample resistant to leaf rust and stem rust; three samples resistant to stem rust and septoria; one sample resistant to leaf and stem rust and septoria; six samples resistant to septoria and pyrenophorosis.

Keywords: winter bread wheat, world collection, damage, disease resistance.

Введение. Фитосанитарная обстановка в агробиоценозах Нижнего Поволжья все больше осложняется вследствие несоблюдения агротехники, насыщения севооборотов монокультурой, нестабильности климатических условий. Все это способствует распространению целого комплекса заболеваний злаковых культур.

Бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina Erikss.*) является серьезным заболеванием пшеницы во всех регионах России (Гультяева и Шайдаук, 2021). В последнее время часто фиксируются эпифитотии стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis Pers. f. sp. tritici Erik. et Henn*) в Северо-Кавказском регионе, в Западной Сибири, в Нижнем Поволжье, в Центральном регионе России (Лапочкина и др., 2018; Волкова и др., 2020; Сколотнева и др., 2020; Конькова, 2021).

Во многих зонах возделывания зерновых культур наблюдается широкое распространение желтой пятнистости листьев (возбудитель *Pyrenophora tritici-repentis* *Died. Drechs.*), а также септориозных пятнистостей (*Septoria tritici* *Rob. et Desm.*) (Кохметова и др., 2018; Зеленева и др., 2019).

В последнее десятилетие в Саратовской области наблюдается увеличение агрессивности грибных болезней зерновых культур. Поэтому приоритетным направлением селекции озимой пшеницы на иммунитет в Нижневолжском регионе был и остается непрерывный поиск и использование новых эффективных генетических источников.

В связи с этим целью данных исследований являлся скрининг мировой коллекции озимой мягкой пшеницы по устойчивости к болезням в Нижневолжском регионе.

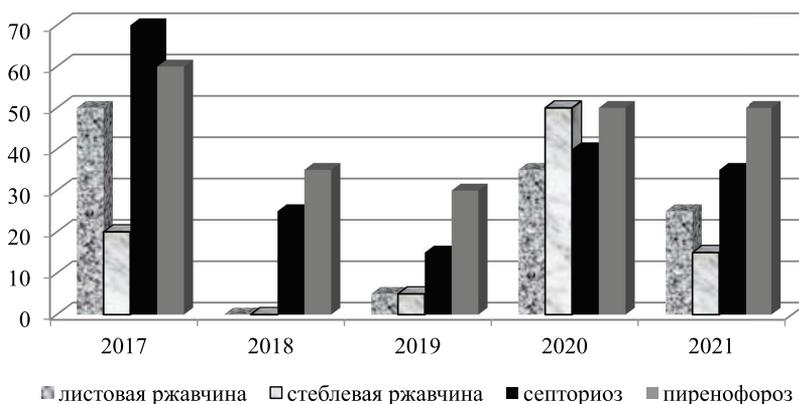
Материалы и методы исследований. Исследования проводили в базе ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока» (г. Саратов). Образцы высевали в оптимальные сроки сеялкой ССФК-8 на делянках площадью 3 м² в однократной повторности. Норма высева семян – 450 всхожих семян/м². Материалом исследований являлись сорто-

образцы мировой коллекции озимой мягкой пшеницы ВИР (селекционных центров США, Канады, Украины, Словакии, Латвии, Венгрии и др.), а также образцы отечественной селекции (ФАНЦ Юго-Востока, НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, Северо-Кавказский ФНАЦ и др.).

Оценку на устойчивость к болезням проводили в условиях естественного инфекционного фона. Оценку устойчивости к ржавчинным заболеваниям проводили по модифицированной шкале Cobba и реакции хозяина на внедрение патогена (Roelfs et al., 1992): R = устойчивый – 1 балл; TR = единичные пустулы, некротичные пятна, устойчивый – 1 балл; MR = умеренно устойчивый – 2 балла; MS = умеренно восприимчивый – 2–3 балла; M = промежуточный между устойчивым и восприимчивым – 2–3 балла; MSS = от умеренно восприимчивого до восприимчивого – 4 балла; TS = единичные пустулы, восприимчивый тип – 3–4 балла; S = восприимчивый – 4 балла.

Интенсивность поражения сортообразцов и гибридов озимой мягкой пшеницы септориозом учитывали по модернизированной шкале Джеймса (ВНИИФ, 1989), предусматривая учет процента пораженной площади органов растений. По степени устойчивости/восприимчивости сортообразцы разделяли на следующие группы: RR – высокоустойчивые; R – устойчивые; M – слабовосприимчивые; S – восприимчивые; SS – высоковосприимчивые. Оценку устойчивости к возбудителю желтой пятнистости листьев учитывали по шкале Рис Р. Г. с соавторами (1987): HR – высокая устойчивость, R – устойчивость, MR – средняя устойчивость, MS – чувствительность, S – чувствительность, HS – высокая чувствительность.

Результаты и их обсуждение. В 2017–2021 гг. в полевых условиях проведена оценка устойчивости 152 образцов озимой мягкой пшеницы к основным возбудителям заболеваний. В результате исследований были выявлены наиболее вредоносные листостебельные заболевания: бурая и стеблевая ржавчины, септориоз и пиренофороз (см. рисунок).



Интенсивность поражения озимой мягкой пшеницы болезнями в Нижневолжском регионе, % (2017–2021 гг.)
The intensity of the disease damage of winter bread wheat in the Nizhnevolzhsky region, % (2017–2021)

Наблюдения за развитием бурой ржавчиной в 2017 г. позволили выявить поражение озимой пшеницы до 60%. Интенсивность поражения в 2018 и 2019 гг. была незначительной и не превышала 5%. Интенсивность поражения *P. triticina* в 2020 г. составила 35%, а в 2021 г. – 25%.

В 2017 и 2021 гг. исследований наблюдались слабые эпифитотии стеблевой ржавчины, где среднее поражение озимой пшеницы составило 20 и 15% соответственно. 2018 и 2019 гг. характеризовались неблагоприятными условиями для развития стеблевой ржавчины, так же как и для бурой ржавчины. В 2020 г. наблюдалась сильная эпифитотия *P. graminis* (до 80%).

В 2017 г. на посевах озимой пшеницы была зафиксирована сильная эпифитотия септориоза (поражение до 67%). В 2018–2019 гг. интен-

сивность поражения *S. tritici* не превысила 25%. Поражение септориозом, превысившее порог 40%, отмечалось в 2020 г. – 45% и в 2021 г. – 41%.

Поражение озимой пшеницы пиренофорозом отмечается ежегодно. В 2017, 2020 и 2021 гг. среднее поражение составило от 50 до 60%. Несмотря на неблагоприятные климатические условия 2018 и 2019 гг. поражение озимой пшеницы желтой пятнистостью листьев составило 35 и 30% соответственно.

По итогам иммунологических оценок образцов озимой мягкой пшеницы было выделено более 60 источников устойчивости. Выявлены образцы, устойчивые к конкретным заболеваниям, а также образцы с групповой устойчивостью к нескольким заболеваниям (см. таблицу).

Образцы озимой мягкой пшеницы с групповой устойчивостью к заболеваниям Winter bread wheat samples with group resistance to diseases

№ каталога	Образец (происхождение)	Пораженность болезнями			
		Бурая ржавчина	Стеблевая ржавчина	Септориоз	Пиренофороз
к. 65761	KS-18474 (Россия)	R	R	M	S
к. 65776	KS-18736 (Россия)	M	R	R	S
к. 66479	607-01 (Россия)	M	R	R	S
к. 66323	Bogatka (Польша)	M	R	R	S
к. 66327	Olivin (Германия)	M	R	R	S
к. 63009	Balatohmagyardi (Венгрия)	R	R	R	R
к. 63884	Sarka (Чехия)	R	R	R	S
к. 65926	IS Karpatia (Словакия)	M	S	R	R
к. 65936	Viador (Словакия)	M	M	R	R
к. 65173	Warwick (Канада)	M	M	R	R
к. 64070	Pacer (США)	M	M	R	R
к. 65159	KS 96 WGRC 34 (США)	M	S	R	R
к. 64671	FV-T 6 (Перу)	R	R	R	R
к. 65186	Dulsineya (Украина)	M	M	R	R

В результате проведенных исследований подтверждена устойчивость к бурой ржавчине у 41 образца, в их числе: Базис (филиал СамНЦ РАН – Самарский НИИСХ), Эритроспермум 3512/10 (ФИЦ «Немчиновка»), Капитан, Изюминка, Аксинья (АНЦ «Донской»); Краля, Сила, Трио (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко); Нива Ставрополя, Фируза 40, к. 65761 KS-18474 (Северокавказский ФНАЦ); к. 65186 Dulsineya, к. 65180 Khazarka (Украина); к. 65175 Wesdom (Канада); к. 65290 GK Forras, к. 63009 Balatohmagyardi (Венгрия); к. 64178 Patria (Хорватия); к. 65936 Viador (Словакия); к. 65159 KS 96 WGRC 34 (США); к. 65178 Melodya (Беларусь); к. 64671 FV-T 6 (Перу) и др.

К стеблевой ржавчине показали устойчивость 22 образца: к. 65761 KS-18474, к. 65776 KS-18736 (Северо-Кавказский ФНАЦ); к. 66479 607-01, к. 66486 733-07 (АНЦ «Донской»); к. 66321 Kobra (Польша); к. 66323 Bogatka (Польша); к. 66327 Olivin (Германия); к. 63009 Balatohmagyardi (Венгрия); к. 66328 Zaritsa, к. 66329 Jadvisja (Беларусь); к. 65898 Lasurna (Украина); к. 64671 FV-T 6 (Перу) и др.

К септориозу устойчивостью характеризовались 15 образцов мировой коллекции

озимой пшеницы: Аэлита (филиал ФАНЦ Юго-Востока – Ершовская СОЗ), Аксинья, к. 66486 733-07 (АНЦ «Донской»), к. 65776 KS-18736 (Северо-Кавказский ФНАЦ), к. 66323 Bogatka (Польша), к. 66327 Olivin (Германия), к. 63009 Balatohmagyardi (Венгрия), к. 63884 Sarka (Чехия), к. 65926 IS Karpatia (Словакия), к. 65936 Viador (Словакия), к. 65173 Warwick (Канада), к. 64070 Pacer (США), к. 65159 KS 96 WGRC 34 (США), к. 64671 FV-T 6 (Перу), к. 65186 Dulsineya (Украина).

Устойчивость к пиренофорозу проявили 8 образцов озимой мягкой пшеницы: к. 65936 Viador (Словакия); к. 63009 Balatohmagyardi (Венгрия), к. 65926 IS Karpatia (Словакия), к. 65173 Warwick (Канада), к. 65159 KS 96 WGRC 34 (США), к. 64671 FV-T 6 (Перу), к. 65186 Dulsineya (Украина), к. 64070 Pacer (США).

Таким образом, в результате иммунологической оценки устойчивости озимой мягкой пшеницы к комплексу заболеваний в условиях Юго-Востока выявлены образцы с высокоэффективной групповой устойчивостью. Выделено два образца с групповой устойчивостью к бурой и стеблевой ржавчине, септориозу и пиренофорозу (к. 63009 Balatohmagyardi

(Венгрия) и к. 64671 FV-T 6 (Перу)); один образец, устойчивый к бурой и стеблевой ржавчинам (к. 65761 KS-18474 (Северо-Кавказский ФНАЦ)); четыре образца, устойчивые к стеблевой ржавчине и септориозу (к. 66486 733-07 (АНЦ «Донской»), к. 65776 KS-18736 (Северо-Кавказский ФНАЦ), к. 66323 Bogatka (Польша), к. 66327 Olivin (Германия)); один образец, толерантный к бурой и стеблевой ржавчинам и септориозу (к. 63884 Sarka (Чехия)); шесть образцов, устойчивых к септориозу и пиренофорозу (к. 65173 Warwick (Канада), к. 65936 Viador (Словакия), к. 65186 Dulsineya (Украина), к. 64070 Pacer (США), к. 65159 KS 96 WGRC 34 (США), к. 65926 IS Karpatia (Словакия)).

Выводы. В результате проведенных иммунологических исследований оценена устойчивость мировой коллекции озимой мягкой пшеницы к комплексу болезней в Нижневолжском регионе. Проведенный скрининг позволил выявить образцы озимой мягкой пшеницы, устойчивые к отдельным болезням и с групповой устойчивостью. Многолетнее изучение мировой коллекции озимой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья показало, что обнаруженных источников с групповой устойчивостью к болезням недостаточно. Для расширения разнообразия озимой пшеницы по устойчивости к нескольким патогенам в селекцию необходимо привлекать новые эффективные доноры устойчивости.

Библиографические ссылки

1. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Мирошниченко О.О. Стеблевая ржавчина – особо опасное заболевание пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 1. С. 20–25. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10104.
2. Гультияева Е.И., Шайдаюк Е.Л. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у новых российских сортов мягкой пшеницы // Биотехнология и селекция растений. 2021. Т. 4. № 2. С. 15–27. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02.
3. Зеленева Ю.В., Афанасенко О.С., Судникова В.П. Влияние возделываемых сортов пшеницы на частоту встречаемых видов возбудителей септориоза // Зерновое хозяйство России. 2019. № 5(65). С.71–76. DOI 10.31367/2079-8725-2019-65-5-71-76.
4. Конькова Э.А. Характеристика вирулентности возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы в условиях Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 23–27. DOI 10.28983/asj.y2021i8.
5. Кохметова А.М., Али С., Сапахова З., Атишова М.Н. Идентификация генотипов-носителей устойчивости к токсинам пиренофороза Ptr ToxA и Ptr ToxB *Pyrenophora tritici-repentis* в коллекции мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(8). С.978–986. DOI 10.18699/VJ18.440.
6. Лапочкина И.Ф., Баранова О.А., Гайнуллин Н.Р., Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Ковалева Е.О., Осипова А.В. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis Pers. f. sp. tritici* для использования в селекционных программах России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(6). С. 676–684. DOI 10.18699/VJ18.410.
7. Методы оценки устойчивости селекционного материала и сортов пшеницы к септориозу (ВНИИФ). М., 1989. 52 с.
8. Сколотнева Е.С., Кельбин В.Н., Моргунов А.И., Бойко Н.И., Шаманин В.П., Салина Е.А. Расовый состав новосибирской популяции *Puccinia graminis f. sp. Tritici* // Микология и фитопатология. 2020. № 54(1). С. 49–58. DOI 10.18699/VJ21.084.
9. Rees R.G., Platz G.J., Mayer R.J. Susceptibility of Australian wheats to *Pyrenophora tritici-repentis* // Aust. J. Agric. Res. 1987. V. 39 S. 141–151.
10. Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat. Concepts and Methods of Disease Management. Mexico. 1992. DF: CIMMYT. 81 s.

References

1. Volkova G.V., Kudinova O.A., Miroshnichenko O.O. Steblevaya rzhavchina – osobo opasnoe zabolovanie pshenitsy [Stem rust is a particularly dangerous wheat disease] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 1. S. 20–25. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10104.
2. Gul'tyaeva E.I., Shaidayuk E.L. Identifikatsiya genov ustoichivosti k buroi rzhavchine u novykh rossiiskikh sortov myagkoi pshenitsy [Identification of leaf rust resistance genes in the new Russian bread wheat varieties] // Biotekhnologiya i selektsiya rastenii. 2021. T. 4. № 2. S. 15–27. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-02.
3. Zeleneva Yu.V., Afanasenko O.S., Sudnikova V.P. Vliyanie vzdelyvaemykh sortov pshenitsy na chastotu vstrechaemykh vidov vozbuditelei septorioza [The effect of cultivated wheat varieties on the frequency of septoria pathogens species] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 5(65). S.71–76. DOI 10.31367/2079-8725-2019-65-5-71-76.
4. Kon'kova E.A. Kharakteristika virulentnosti vozbuditeleya steblevoi rzhavchiny pshenitsy v usloviyakh Saratovskoi oblasti [Characteristics of the virulence of the wheat stem rust causative agent in the Saratov region] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2021. № 8. S. 23–27. DOI 10.28983/asj.y2021i8.
5. Kokhmetova A.M., Ali S., Sapakhova Z., Atishova M.N. Identifikatsiya genotipov-nositelei ustoichivosti k toksinam pirenoforoza Ptr ToxA i Ptr ToxB *Pyrenophora tritici-repentis* v kollektcii myagkoi pshenitsy [Identification of genotypes-carriers of resistance to pyrenophorosis toxins Ptr ToxA and Ptr ToxB *Pyrenophora tritici-repentis* in the bread wheat collection] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. № 22(8). S.978–986. DOI 10.18699/VJ18.440.
6. Lapochkina I.F., Baranova O.A., Gainullin N.R., Volkova G.V., Gladkova E.V., Kovaleva E.O., Osipova A.V. Sozdanie linii ozimoi pshenitsy s neskol'kimi genami ustoichivosti k *Puccinia graminis Pers. f. sp. tritici* dlya ispol'zovaniya v selektsionnykh programmakh Rossii [Development of winter wheat lines with several

resistance genes to *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* for use in Russian breeding programs] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2018. № 22(6). S. 676–684. DOI 10.18699/VJ18.410.

7. Metody otsenki ustoychivosti selektsionnogo materiala i sortov pshenitsy k septoriozu (VNIIF) [Methods for estimating the septoria resistance of breeding material and wheat varieties (VNIIF)]. M., 1989. 52 s.

8. Skolotneva E.S., Kel'bin V.N., Morgunov A.I., Boiko N.I., Shamanin V.P., Salina E.A. Rasovyi sostav novosibirskoi populyatsii *Puccinia graminis* f. sp. *Triticum* [Racial composition of the Novosibirsk population of *Puccinia graminis* f. sp. *Triticum*] // Mikologiya i fitopatologiya. 2020. № 54(1). S. 49–58. DOI 10.18699/VJ21.084.

9. Rees R.G., Platz G.J., Mayer R.J. Susceptibility of Australian wheats to *Pyrenophora tritici-repentis* // Aust. J. Agric. Res. 1987. V. 39 S. 141–151.

10. Roelfs A.P., Singh R.P., Saari E.E. Rust Diseases of Wheat. Concepts and Methods of Disease Management. Mexico. 1992. DF: CIMMYT. 81 s.

Поступила: 02.03.22; доработана после рецензирования: 18.03.22; принята к публикации: 18.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Конькова Э.А. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Лящева С.В., Сергеева А.И. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.18:632.938.1:632.3

DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-41-47

ГЕНЫ УСТОЙЧИВОСТИ РИСА К БАКТЕРИАЛЬНОМУ ОЖОГУ ЛИСТЬЕВ, ВЫЗЫВАЕМОМУ *XANTHOMONAS ORYZAE PV. ORYZAE* (ОБЗОР)

П.И. Костылев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

Н.Г. Черткова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771

ФГБНУ «АНЦ «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Рис является важнейшей пищевой культурой для населения земного шара и культивируется более десяти веков. Его поражают различные вирусные, грибковые и бактериальные болезни, из которых наиболее опасным является бактериальный ожог, который вызывается бактерией *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (Xoo). Наиболее эффективным способом борьбы с бактериальным ожогом является использование устойчивых сортов совместно с оптимальными агротехническими методами. За последние годы в мире проведены обширные генетические и геномные исследования для выяснения молекулярного механизма реакции риса на Xoo. В результате длительных исследований учеными из Юго-Восточной Азии было идентифицировано 42 различных гена устойчивости к бактериальному ожогу, из них 9 выделены и клонированы. В настоящий момент доступны полные последовательности геномов двух разных подвидов риса japonica и indica и трех разных рас возбудителя бактериального ожога. Следовательно, взаимодействие между растениями риса и Xoo может быть расшифровано и позволит понять меры противодействия хозяина, такие как врожденный иммунитет и иммунитет, опосредованный геном R. Функциональный анализ генов устойчивости может дать ключ к развитию широкого спектра и длительной устойчивости к бактериальному ожогу. Был охарактеризован ряд генов резистентности (R) и родственных им генов авирулентности и эффекторных генов вирулентности. В данном обзоре на основе опубликованных исследований представлены последние достижения в изучении взаимодействия между растениями риса и патогеном через гены R и их продукты. Также обсуждаются стратегии селекции для создания сортов с длительной и широкой устойчивостью к *Xanthomonas oryzae*.

Ключевые слова: рис, сорт, генотип, бактериальный ожог, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, устойчивость, Ха гены.

Для цитирования: Костылев П.И., Черткова Н.Г. Гены устойчивости риса к бактериальному ожогу листьев, вызываемому *Xanthomonas oryzae pv. Oryzae* (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 41–47. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-41-47.



RICE RESISTANCE GENES TO LEAF BLIGHT CAUSED BY *XANTHOMONAS ORYZAE PV. ORYZAE* (REVIEW)

P.I. Kostylev, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

N.G. Chertkova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771

Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Rice is the most important food crop for the world population and has been cultivated for more than 10 centuries. It is affected by various viral, fungal and bacterial diseases, the most harmful of which is leaf blight, which is caused by the bacterium *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (Xoo). The most effective way to combat leaf blight is to use resistant varieties together with good agro-technical methods. In recent years, there has been carried out an extensive genetic and genomic study to identify the molecular mechanism of rice reaction to Xoo. As a result of long-term study by the Southeast Asian farmers there were identified 42 different leaf blight resistance genes, 9 of which were isolated and cloned. Currently, complete genome sequences are available for two different rice subspecies 'Japonica' and 'Indica' and three different races of the leaf blight pathogen. Therefore, there can be estimated an interaction between rice and Xoo, which will allow establishing host responses such as innate immunity and R gene-mediated immunity. Functional analysis of resistance genes may provide clues to the development of a broad spectrum and long-term resistance to leaf blight. There has been characterized a number of resistance (R) genes and related avirulence genes and effector virulence genes. This review, based on published works has presented the latest advances in the study of correlation between rice and the pathogen through R genes and their products. There has been also discussed breeding strategies in order to develop varieties with long-term and broad resistance to *Xanthomonas oryzae*.

Keywords: rice, variety, genotype, leaf blight, *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, resistance, Ха genes.

Введение. Рис (*Oryza sativa* L.) является основным продуктом питания для миллионов людей в мире, особенно в Южной и Юго-Восточной Азии, а также в тропической Латинской Америке, что делает его второй по потреблению злаковой культурой. На его долю прихо-

дится 35–60% калорий, использование риса в азиатских странах составляет более 90%, поэтому в Азии его больше потребляют и производят. Чтобы удовлетворить растущий спрос почти 5,0 млрд потребителей, к 2030 г. странам, выращивающим рис, придется производить

на 40% больше риса (Khush et al., 2005). Однако его производству сильно препятствуют болезни, вызываемые патогенными грибами, бактериями и вирусами; наиболее опасным из них является бактериальный ожог листьев (БО), вызываемый *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Хоо) (см. рисунок).



Симптомы бактериального ожога листьев, вызванного *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*
Symptoms of bacterial leaf blight, caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*

Бактериальный ожог является одной из основных болезней листьев растений риса, вызывая потери урожая на 20–30%. В 1884 г. японские фермеры, выращивающие рис, первыми заметили болезнь. После этого болезнь появилась также в различных частях Азии, Австралии, Латинской Америки, Африки и США. В некоторых частях мира бактериальный ожог листьев сейчас перерастает в эпидемию, при этом потери урожая могут составлять 50%. На сегодняшний день бактериальный ожог широко распространен практически во всех рисоводческих странах мира (Jiang et al., 2020).

Бактериальный ожог (БО) – это сосудистое заболевание, приводящее к появлению желтовато-серых или белых поражений вдоль жилок. Возбудитель болезни проникает в организм хозяина через гидатоды, устьица и раны на корнях или листьях, что вызывает увядание листьев и влияет на процессы фотосинтеза. Единственным источником заражения при переносе в свободные регионы является инфицированный семенной материал. Бактерии могут сохраняться как в эндосперме зерна, так и в рисовой шелухе. При этом сроки сохранения бактерий колеблются от двух месяцев до года. На незначительные расстояния возможен перенос возбудителя зараженным растительным материалом, соломой и половой, самосевом риса, хозяевами-сорняками. Кроме того, распространение происходит ветром, дождем, но преимущественно водой для орошения и при наводнениях. Существует мнение о возможности переноса возбудителя бактериального ожога насекомыми. Доказано, что клоп *Leptocorsia acuta* Thun. является переносчиком бактерий.

В полевых условиях симптомы проявляются в фазе кущения, а заболеваемость увеличивается по мере роста растений, достигая максимума в фазу цветения. Тяжелое течение болезни, возникающее на стадии кущения, может приводить к частичной или полной гибели урожая. У зараженного растения появляются незрелые зерна, из-за чего при изго-

товлении крупы образуется больше сечки. Потеря урожая показывает, что серьезность заболевания зависит от многих факторов, включая восприимчивость хозяина, стадии роста и благоприятные условия окружающей среды для возникновения болезни. Требуются стратегии для предотвращения ущерба в результате инфекции и уменьшения числа случаев заболевания, которое может перерасти в эпидемию (Yogesh and Dharminder, 2017).

Меры борьбы с БО включают в себя методы культивирования, химический и биологический контроль, прогнозирование болезни и, что наиболее важно, генетическую устойчивость хозяина. Поскольку наиболее эффективных химических средств борьбы пока не существует, использование сортов, несущих гены устойчивости, считается наиболее эффективным и экологически безопасным способом борьбы с болезнью. Большинство исследователей заинтересованы в использовании сортов, устойчивых к БО, и эта цель, безусловно, достижима при условии наличия простой стратегии идентификации генов устойчивости. У риса основным способом борьбы с бактериальным ожогом листьев является устойчивость, обусловленная одним геном, но с течением времени структура вирулентности патогенов изменилась, что нейтрализовало устойчивость хозяина. Его можно отсрочить, комбинируя несколько генов (пирамидирование генов), которые обеспечивают устойчивость к множеству патогенов. Пирамидирование генов показывает более длительную устойчивость генотипов по сравнению с обычным действием генов, что указывает на комплементарное взаимодействие R-генов. Их характеристика и наличие тесно связанных маркеров значительно облегчат создание новых сортов (Yogesh and Dharminder, 2017).

Гены устойчивости ко многим патогенам хорошо идентифицированы у риса. На сегодняшний день у культурного риса и его диких сородичей идентифицировано более 40 различных генов устойчивости, придающих устойчивость к различным штаммам. Более трети этих генов носят рецессивный характер (*xa5*, *xa8*, *xa13*, *xa19*, *xa20*, *xa24*, *xa28*, *xa31* и *xa32*), а 6 из них клонированы (*Xa1*, *xa5*, *xa13*, *Xa21*, *Xa26* и *Xa27*). Среди всех генов устойчивости к БО три из них зарегистрированы и картированы на хромосоме 6. Различные типы белков кодируются этими генами, например, *Xa1* кодирует нуклеотид-связывающий белок LRR, рецессивный ген *xa5* кодирует γ -субъединицу транскрипционного фактора, *Xa27* кодирует новый белок, рецессивный ген *xa13* кодирует белок плазматической мембраны. Таким образом, Хоо имеет разнообразный механизм взаимодействия внутри вида-хозяина. Сочетание генов устойчивости в сортах позволит получить глубокое знание о патогене и приведет к развитию устойчивости сортов к бактериальному ожогу. Большинство генов устойчивости были идентифицированы у сортов *O. sativa* ssp. *indica* и ви-

дов дикого риса: *O. longistaminata*, *O. rufipogon*, *O. officinalis* и *O. minuta*, а некоторые у *O. sativa* ssp. *japonica*.

Результаты и обсуждение. *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Хоо) является представителем граммотрицательных протеобактерий. Он продолжает расти в сосудистой системе ксилемы до тех пор, пока она не закупорится бактериальными клетками и внеклеточным полисахаридом ксантаном. Существует несколько рас, которые секретируют расоспецифичные эффекторы в ксилему, вызывая индивидуальную реакцию и инфекцию. Бактерии также высвобождают факторы, которые связывают и активируют транскрипцию генов, активирующих реакцию резистентности, известных как гены резистентности (R) (Hutin et al., 2015). Факторы, активирующие гены устойчивости к Хоо, известны как факторы авирулентности, которые определяют специфичность хозяина посредством межгенных взаимодействий, снижая вирулентность патогена по мере того, как они распознаются хозяином. Поскольку каждая раса Хоо продуцирует уникальные факторы вирулентности и авирулентности, гены R эволюционировали, чтобы обеспечить устойчивость к отдельным расам Хоо. Известно, что взаимодействия бактерий с растением определяют генами сверхчувствительного ответа и патогенности. Значительные усилия были предприняты для идентификации генов, участвующих в патогенезе Хоо, и понимания роли продуктов генов в процессе болезни (Jiang et al., 2020).

Генетический анализ многих взаимодействий растений и патогенов показал, что растения часто содержат один локус, который придает устойчивость против комплементарного гена авирулентности. Генетика устойчивости к бактериальному ожогу впервые была изучена в Японии и IRR1, затем последовали Шри-Ланка, Индия, Китай и др. Около 42 генов устойчивости к БО были идентифицированы в культурных сортах, мутантах и диких видах риса. Они были картированы в большинстве из двенадцати хромосом риса. Многие гены обеспечивают полную и расоспецифическую устойчивость к БО (Hutin et al., 2015). Поскольку бактериальные расы имеют тенденцию постоянно изменяться под влиянием искусственного и естественного отбора, необходимо исследовать новые гены устойчивости к БО для борьбы с эволюционировавшими расами.

Ген *Ха1* был идентифицирован Sakaguchi (1967) из сортов риса Kogyoku и Java14. Это придавало японским сортам высокий уровень специфической устойчивости. С тех пор *Ха1* широко используют в японской селекции риса, он является наиболее распространенным в Японии. Позже была разработана генетическая карта высокого разрешения для *Ха1* с использованием популяции F_2 и маркеров RFLP (Yoshimura et al., 1996). Было обнаружено, что три маркера (XNpb235, XNpb264 и C600) на хромосоме 4 тесно сцеплены с *Ха1*, а другой

маркер RFLP U08 750 находился на расстоянии 1,5 см от него.

Ген *Ха2* был выявлен Sakaguchi (1967) у сорта риса Tetep. Этот ген был картирован на хромосоме 4, он сцеплен с *Ха1* с частотой рекомбинации 2–16% (Yoshimura et al., 1996). Ген *Ха2* локализуется между двумя маркерами, охватывающими область размером примерно 190 т.п.н.

Ген *Ха3* был определен у сорта подвид *japonica* Wase Aikoku 3. Он был картирован на длинном плече хромосомы 11 и тесно связан с другим геном устойчивости к БО *Ха4* (Yoshimura et al., 1996), а также с *Ха26*. Для характеристики гена *Ха3* он был точно картирован с использованием популяции, сегрегирующей только для одного гена устойчивости, и маркеров, полученных от *Ха26*.

Гены *Ха4* и *ха5* были идентифицированы Petpisit et al. (1977). Доминантный ген *Ха4*, имеющийся у сортов ТКМ6, IRBB4, дает устойчивость к филиппинской расе 1. Ген *Ха4* был локализован между маркерами G181 и L1044 на расстоянии 4,4 и 3,8 см соответственно (Wang et al., 2001).

У образца IRBB5 выявлен рецессивный ген *ха5* в хромосоме 5, который обеспечивает устойчивость к филиппинским расам 1, 2, 3 и 5. Была разработана генетическая карта высокого разрешения хромосомной области, в которой находится ген *ха5*, в интервале 0,5 см длиной 70 т.п.н. между маркерами RS7 и RM611 (Blair et al., 2003).

Ген *Ха6* был идентифицирован в хромосоме 11 у сорта Zenith, он был сцеплен с геном *Ха4* с величиной кроссинговера 26%.

На Филиппинах у образца DZ78 был найден доминантный ген *Ха7* (Sidhu et al., 1978). Значение рекомбинации 8,8% было определено между генами *Ха7* и G1091, расположенными на 107,5 см в хромосоме 6.

Рецессивный ген *ха8*, обеспечивающий устойчивость коллекционных форм риса, обнаружен у образца PI 231128. Он находится на хромосоме 7 между двумя SSR-маркерами: RM21044 и RM21045 в диапазоне 7,0 и 9,9 см. В этой области находятся также три гена, которые отвечают за реакцию растений на различные стрессы.

Рецессивный ген *ха9* был найден у сортов Khao Lay Nhay и Sateng. Он сцеплен с геном *Ха6* в хромосоме 11 со значением кроссинговера 5,9%.

Ген *Ха10* был идентифицирован у сорта риса Cas 209. Этот локус *Ха10* был идентифицирован на длинном плече хромосомы 11 риса между RFLP-маркерами RG103 (83 см) и RG1109 (91,4 см) (Ramalingam et al., 2003).

Ген *Ха11* был идентифицирован Ogawa et al. (1986). Он придает специфическую устойчивость образцов T7156, T7147, T7133 и H75304 к японским расам IB, II, IIIA и V. Этот ген был картирован между локусами RM347 (2,0 см) и KUX11 (1,0 см) на длинном плече хромосомы 3 (Goto et al., 2009).

Доминантный ген *Ха12* контролировал устойчивость сортов *Kogyoku* и *Java14* к расе V бактериального ожога в Индонезии.

Ген *ха13* был впервые обнаружен у сорта риса BJ1, и именно этот ген обеспечивает устойчивость к самой вирулентной филиппинской расе 6. Ген был точно картирован в области менее 4 см на длинном плече хромосомы 8 (Sanchez et al., 1999).

Ген *Ха14*, идентифицированный из сорта *Taichung Native 1*, является доминантным геном устойчивости к филиппинской расе 5 и расположен на хромосоме 4.

Серия из девяти генов (*ха15*, *Ха16*, *Ха17*, *Ха18*, *ха19*, *ха20*, *Ха26*, *Ха27* и *ха28*) была получена с помощью мутагенеза. Образцы имели различные уровни и спектры резистентности к бактериальному ожогу. В Японии у мутанта сорта M41 обнаружен ген *ха15*, у сорта *Teter* – *Ха16*, *Asominori* – *Ха17*, *Toyonishiki* – *Ха18*, IR24 – *Ха19* и *Ха20*. Эти гены не были аллельными с ранее известными рецессивными генами *ха5*, *ха8*, и *ха13*.

Был найден образец африканского дикого вида *Oryza barthii*, который устойчив ко всем расам БО в Индии. Выяснилось, что он подобен таковому у *Oryza longistaminata*, который был устойчив ко всем шести филиппинским расам (Khush et al., 1990). Устойчивость у них контролировалась геном *Ха21*, локализованным в интервале 8,3 см на хромосоме 11, а физический размер этой области равен примерно 800 т.п.н.

Еще один ген устойчивости к БО, *Ха22*, был обнаружен в стародавнем сорте *Zhachanglong* (ZCL) из провинции Юньнань на юго-западе Китая. Он показал высокий уровень устойчивости к 16 из 17 испытанных штаммов БО (Lin et al., 1996). Ген был неаллелен локусам *Ха1*, *Ха2*, *Ха4* и *Ха14*, но было обнаружено, что он сцеплен с *Ха4*. Этот ген картирован на длинном плече хромосомы 11 и локализован в небольшом фрагменте размером 100 т.п.н.

Ген *Ха23* был картирован у образца дикого риса *O. rufipogon* (CBV23) на хромосоме 11 в области 0,4 см между маркерами Lj138 и A83B4, физическое расстояние между которыми составляет 49,8 т.п.н. Он контролирует устойчивость к индонезийским расам.

Ген резистентности *Ха24* был найден у образца DV86. Он был точно картирован на фрагменте ДНК длиной 71 т.п.н. в длинном плече хромосомы 2 с использованием маркеров RM482 и RM138 на расстоянии 8,0 и 0,9 см от них. Он определяет устойчивость к филиппинским расам 4, 6 и 10, а также китайским расам *Zhe 173*, *JL691* и *KS-1-21*.

Ха25, доминантный ген устойчивости, был идентифицирован у соматоклонального мутанта *Minghui 63*, линии-восстановителя ряда гибридов риса, широко культивируемых в Китае (Amante-Bordeos et al., 1992). Он обеспечивает устойчивость к филиппинской расе 9 как на стадии проростков, так и взрослых растений. Ген находится в терминальной области длинного плеча хромосомы 4 между двумя

SSR-маркерами RM6748 и RM1153 на расстоянии 9,3 и 3,0 см соответственно.

Ген *Ха26* найден у филиппинского сорта *Nep Bha Bong*, его локализация не определена. Этот ген показал умеренную устойчивость к расам 1, 2 и 3 и 5. Дальнейшее исследование показало, что *Ха26* является тем же геном, что и *Ха3*.

Для расширения пула генофонда устойчивых к БО образцов в ИППИ в конце 1980-х гг. была проведена широкая гибридизация с дикими видами для передачи генов резистентности. Новый локус устойчивости *Ха27* был выделен из потомства межвидовых гибридов *O. sativa* (IR31917-45-3-2) и *O. minuta* (acc. 101141) (Amante-Bordeos et al., 1992). Ген *Ха27* обнаружен в пределах генетического интервала 0,052 см на длинном плече хромосомы 6 между маркерами M964 и M1197.

У сорта *Lota Sail* был рецессивный ген устойчивости к расе 2, который расщеплялся независимо от *Ха10* и был обозначен как *ха28*.

Еще один доминантный ген, *Ха29*, был идентифицирован в линии риса «B5», полученной от скрещивания с *Oryza officinalis* посредством интрогрессии. Он оказался высокоустойчивым к бурой цикадке, белоспинной цикадке и бактериальному ожогу. Ген устойчивости находится в области 1,3 см, на хромосоме 1.

Новая зародышевая плазма устойчивости риса к БО от дикого вида риса *O. rufipogon* была идентифицирована и обозначена как ген *Ха30* (Jin et al., 2007). Ген был картирован на длинном плече хромосомы 11. Молекулярный маркер O3STS расположен от него на генетическом расстоянии 2,0 см.

Ген *Ха31* устойчивости к БО был выявлен в *Zhachanglong* (ZCL), региональном сорте риса из провинции Юньнань на юго-западе Китая, который имеет высокий уровень устойчивости. Анализ генетического сцепления и точное картирование локализовали *Ха31* в пределах генетического расстояния 0,2 см между двумя маркерами G235 и C600 на конце длинного плеча хромосомы 4. Локус *Ха31* имеет длину около 100 т.п.н.

Еще один ген устойчивости к БО из дикого риса (*Oryza australiensis*) получила интрогрессивная линия C4064, которая оказалась устойчивой к 7 штаммам. Ген был обозначен как *Ха32* и картирован в интервале 2,0 см, фланкированном двумя SSR-маркерами RM2064 и RM6293 на длинном плече хромосомы 11 (Zheng et al., 2009).

Рецессивный ген устойчивости к БО *Ха33* был идентифицирован у сорта риса «Ba7». Ген был локализован на длинном плече хромосомы 6, где находятся два других доминантных гена (*Ха7* и *Ха27*). Несмотря на то что *Ха7* и *ха33* имели общие маркеры, оба показали разное действие генов и не зависели от стадии роста (Korinsak et al., 2009).

Индийские исследователи нашли новый доминантный ген устойчивости к трем штаммам патогена БО у *Oryza nivara* и также обозначили его как *Ха33*. Он расположен на хромо-

соем 7 между маркерами RM21004 и RM21177 на генетическом расстоянии 2,0 и 4,5 см от них. Межвидовое скрещивание между *O. nivara* (IRGC105710) и восприимчивым сортом TN1 позволило перенести этот ген в культурный вид. Это разные гены.

Тайский сорт риса Pin Kaset (PK) имел высокий уровень устойчивости к БО. Ген устойчивости *Ха34* сцеплен с маркером RM224 на хромосоме 11 (Korinsak et al., 2009). Этот же ген *Ха34* обнаружен в Индии у двух интрогрессивных линий (IR65483-118-25-31-7-1-5-B и IR65483-141-2-4-4-2-5-B), полученных от гибрида IR56 × *O. brachyantha*, которые показали устойчивость к 16 изолятам БО (Ram et al., 2010).

Следующий ген, *Ха35*, показал высокий уровень устойчивости риса к бактериальному ожогу. Он был идентифицирован у образца дикого вида риса *Oryza minuta* (IRGC101133), который был скрещен с сортом IR24 (Guo et al., 2010). Благодаря генетическому анализу локус *Ха35* был картирован в хромосоме 11 и находился на расстоянии 0,7 см от маркера RM6293 с одной стороны и 1,1 см от маркера RM7654 с другой.

Ученые выявили, что у образца риса C4059 содержится ген устойчивости к бактериальному ожогу *Ха36*. Этот ген был картирован на длинном плече хромосомы 11, охватывающей область размером 4,5 см, окруженную маркерами RM224 и RM2136 (Miao et al., 2010).

Образец *O. nivara* (IRGC 81825) оказался устойчивым ко всем семи патотипам БО, распространенным в Северной Индии. Популяция F_2 , полученная в результате скрещивания между PR114 и *O. nivara*, расщеплялась в соотношении 3:1 – устойчивые: восприимчивые растения, указывающем на то, что устойчивость обеспечивается одним доминантным геном. Изучение наследования позволило нанести ген, обозначенный как *Ха38*, на карту хромосомы 4 (длинное плечо), охватывающий область приблизительно 38,4 т.п.н. (Zhang., 2007).

Интрогрессивная линия риса FF329, полученная в результате скрещивания донора PSBRC66 (P66) и реципиента Huang-Hua-Zhan (HHZ), демонстрировала устойчивость широкого спектра действия к 14 филиппинским и семи китайским патотипам. Идентифицированный ген, расположенный на хромосоме 11, был новым и обозначен как *Ха39*. Точное картирование локуса *Ха39* позволило поместить ген в интервал 97,4 т.п.н., фланкированный маркерами RM26985 и DM13.

Беккроссная линия от скрещивания сорта japonica Junat с линией indica IR65482-7-216-1-2 была устойчива ко всем корейским расам БО. Устойчивость контролируется геном устойчивости, обозначенным как *Ха40*, который был сегрегирован с маркерами RM27320 и ID55. На основе физической карты japonica ген *Ха40* был определен в область размером примерно 80 т.п.н. на хромосоме 11.

Hutin et al. (2015) провели скрининг коллекции из 169 образцов риса и идентифицировали аллель, который был обозначен *Ха41*, при-

дающий устойчивость к половине испытываемых штаммов БО, имеющих различное географическое происхождение (Hutin et al., 2015).

Новый мутант под названием «XM14», устойчивый ко всем японским расам БО, был получен путем обработки сорта IR24. Ген, идентифицированный в XM14, был обозначен как *ха42* (Lee et al., 2005). Популяция F_2 XM14 × IR24 ясно показала расщепление в соотношении 1 устойчивый: 3 восприимчивых, указывая на контроль устойчивости рецессивным геном, который расположен недалеко от центромеры хромосомы 3 между маркерами KGC3_16.1 и RM15189.

Наиболее благоприятными для развития БО являются районы с кислой почвой, высоким уровнем грунтовых вод, повышенной температурой (24–30 °С). Потенциальными ареалами акклиматизации на территории РФ являются Северный Кавказ, Краснодарский и Приморский края – основные рисосеющие районы России. В настоящий момент исследований по выявлению БО в нашей стране не проводили, и известных сортов, устойчивых к этому патогену, нет. Существует вероятность появления этого заболевания в России, поэтому необходимы исследования по выявлению генов устойчивости к БО в сортах местной селекции и в образцах гибридного происхождения от скрещивания отечественных сортов с донорами идентифицированных генов Ха. Это позволит вовремя среагировать на возникшую опасность.

Стратегии селекции на устойчивость к бактериальному ожогу. Использование устойчивости растений-хозяев обычно является наиболее благоприятной тактикой борьбы с болезнями по экономическим и экологическим причинам. Маркерная селекция (MAS) и генетическая трансформация являются двумя основными подходами к использованию R-генов в программах селекции растений. Однако разногласия по поводу безопасности пищевых продуктов и ограничения регулирования в некоторых странах серьезно затруднили применение генетически модифицированных сортов. MAS, свободный от политических вопросов и социальных проблем, более широко используется селекционерами. Пирамидирование генов R, устойчивых к различным расам патогена, с помощью стратегий селекции с использованием маркеров является очень эффективным способом достижения широкой устойчивости, в то время как использование одного R гена и адаптация возбудителя часто приводят к потере резистентности за короткий период (Jiang et al., 2020).

Чаще всего селекционеры риса используют гены *Ха5*, *Ха7*, *Ха13*, *Ха21* и *Ха23* из-за сравнительно более широкого спектра устойчивости. Пирамидированные линии и гибриды проявляли большую устойчивость к штаммам Хоо, чем линии с одиночными генами. Поскольку *Ха23* проявляет самую широкую устойчивость, его часто используют отдельно или вместе с другими генами R против пирикулярноза риса и/или бурой цикадки (Hutin et al., 2015).

Точное картирование ранее идентифицированных локусов устойчивости облегчает их использование в программах селекции риса. Создание почти изогенных линий и чередование генов R может снизить давление отбора на патогены и максимально увеличить продолжительность жизни генов устойчивости. Мультилинии, содержащие разные гены R, также могут обеспечить широкую и длительную устойчивость к болезням.

Заключение. Бактериальное поражение листьев является одним из самых разрушительных заболеваний, вызывающих значитель-

ные потери урожая риса. Различные стратегии борьбы с этим заболеванием не всегда эффективны. Однако создание устойчивых сортов риса для борьбы с ним представляется наиболее экономичным подходом. В достижении этой цели большую роль играют селекционеры. Разнообразие имеющейся зародышевой плазмы чрезвычайно ценно. Поэтому все больше коллекционного материала, включая дикие виды *Oryza*, должно быть изучено в поисках генотипов, устойчивых против бактериального ожога.

Библиографические ссылки

1. Amante-Bordeos A., Sitch L.A., Nelson R., Dalmacio R.D., Oliva N.P., Aswidinnoor H., Leung H. Transfer of bacterial blight and blast resistance from the tetraploid wild rice *Oryza minuta* to cultivated rice, *Oryza sativa*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1992; 84:345–54.
2. Blair M.W., Garris A.J., Iyer A.S., Chapman B., Kresovich S., McCouch S.R. High resolution genetic mapping and candidate gene identification at the *xa5* locus for bacterial blight resistance in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2003; 107:62–73.
3. Goto T., Matsumoto T., Furuya N., Tsuchiya K., Yoshimura A. Mapping of bacterial blight resistance gene *Xa11* on rice chromosome 3. *Japanese Agricultural Research Quarterly*. 2009; 43:221–5.
4. Guo S.B., Zhang D.P., Lin X.H. Identification and mapping of a novel bacterial blight resistance gene *Xa35(t)* originated from *Oryza minuta*. *Scientia Agricultura Sinica*. 2010; 43(13).
5. Hutin M., Sabot F., Ghesquière A., Koebnik R., Szurek B. A knowledge-based molecular screen uncovers a broad-spectrum OsSWEET14 resistance allele to bacterial blight from wild rice. *The Plant Journal*. 2015; 84:694–703.
6. Jiang N., Yan J., Liang Y., Shi Y., He Z., Wu Y., Zeng Q., Liu X., Peng J. Resistance Genes and their Interactions with Bacterial Blight/Leaf Streak Pathogens (*Xanthomonas oryzae*) in Rice (*Oryza sativa* L.) – an Updated Review // *Rice*. 2020. V. 13. No. 3.
7. Jin X.W., Wang C.L., Yang Q., Jiang Q.X., Fan Y.L., Liu G.C., Zhao K.J. Breeding of near-isogenic line CBB30 and molecular mapping of *Xa30(t)*, a new resistance gene to bacterial blight in rice. *Scientia Agricultura Sinica*. 2007; 40:1094–100.
8. Korinsak S., Sriprakhon S., Sirithanya P., Jairin J., Korinsak S., Vanavichit A., Toojinda T. Identification of microsatellite markers (SSR) linked to a new bacterial blight resistance gene *Xa33(t)* in rice cultivar 'Ba7'. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2009; 3:235–47.
9. Khush, G.S. What will it take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030? *Plant Molecular Biology*. 2005; 59:1–6.
10. Khush G.S., Bacalangco E. and Ogawa T. A new gene for resistance to bacterial blight from *Oryza longistaminata*. *Rice Genetics Newsletter*. 1990; 7:121–2.
11. Lee B.M., Park Y.J., Park D.S., Kang H.W., Kim J.G., Song E.S., Park I.C., Yoon U.H., Hahn J.H. et al. The genome sequence of *Xanthomonas oryzae* pathovar *oryzae* KACC10331, the bacterial blight pathogen of rice. *Nucleic Acids Research*. 2005; 33:577–86.
12. Lin X.H., Zhang D.P., Xie Y.F., Gao H.P., Zhang Q. Identification and mapping of a new gene for bacterial blight resistance in rice based on RFLP markers. *Phytopathology*. 1996; 86:1156–9.
13. Miao L.L., Wang C.L., Zheng C.K., Che J.Y., Gao Y., Wen Y.C., Li G.Q., Zhao K.J. Molecular mapping of a new gene for resistance to rice bacterial blight. *Scientia Agricultura Sinica*. 2010; 43(15):3051–8.
14. Ram T., Laha G.S., Gautam S.K., Ram D., Madhav M.S., Brar D.S., Viraktamath B.C. Identification of a new gene introgressed from *Oryza brachyantha* with broad-spectrum resistance to bacterial blight of rice in India. *Rice Genetics Newsletter*. 2010; 25:57.
15. Ramalingam J., Vera Cruz C.M., Kukreja K., Chittoor J.M., Wu J.L., Lee S.W., Baraoidan M., George M.L., Cohen M.B., Hulbert S.H., Leach J.E., Leung H. Candidate defense genes from rice, barley, and maize and their association with qualitative and quantitative resistance in rice. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2003; 16:14–24.
16. Sanchez A.C., Ilag L.L., Yang D., Brar D.S., Ausubel F., Khush G.S., Yano M., Sasaki T., Li Z., Huang N. Genetic and physical mapping of *xa13*, a recessive gene bacterial blight resistance gene in rice. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999; 98:1022–8.
17. Sidhu G.S., Khush G.S. Dominance reversal of a bacterial blight resistance gene in some rice cultivars. *Phytopathology*. 1978; 68:461–3.
18. Wang W., Zhai W., Luo M., Jiang G., Chen X., Li X., Wing R.A. and Zhu L. Chromosome landing at the bacterial blight resistance gene *Xa4* locus using a deep coverage rice BAC library. *Molecular Genetics & Genomics*. 2001; 265:118–2.
19. Yogesh V., Dharminder B. Genetics and genomics of bacterial blight resistance in rice // *Advances in International Rice Research*, Intech Open, 2017. DOI: 10.5772/67361.
20. Yoshimura S., Umehara Y., Kurata N., Nagamura Y., Sasaki T., Minobe Y., Iwata N. Identification of a YAC Clone Carrying the *Xa1* allele, a bacterial blight resistance gene in rice. *Theoretical and Applied Genetics*. 1996; 93:117–22.
21. Zhang Q. Genetics of quality resistance and identification of major resistance genes to rice bacterial blight. In: Zhang Q, editors. *Genetics and Improvement of Resistance to Bacterial Blight in Rice*. Science Press, Beijing; 2007. P. 130–77.

22. Zheng C.K., Wang C.L., Yu Y.J., Liang Y.T. and Zhao K.J. Identification and molecular mapping of *Xa32(t)*, a novel resistance gene for bacterial blight (*Xanthomonas oryzae pv. oryzae*) in rice. *Acta Agronomica Sinica*. 2009; 35:1173–80.

References

1. Amante-Bordeos A., Sitch L.A., Nelson R., Dalmacio R.D., Oliva N.P., Aswidinnoor H., Leung H. Transfer of bacterial blight and blast resistance from the tetraploid wild rice *Oryza minuta* to cultivated rice, *Oryza sativa*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1992; 84:345–54.
2. Blair M.W., Garris A.J., Iyer A.S., Chapman B., Kresovich S., McCouch S.R. High resolution genetic mapping and candidate gene identification at the *xa5* locus for bacterial blight resistance in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2003; 107:62–73.
3. Goto T., Matsumoto T., Furuya N., Tsuchiya K., Yoshimura A. Mapping of bacterial blight resistance gene *Xa11* on rice chromosome 3. *Japanese Agricultural Research Quarterly*. 2009; 43:221–5.
4. Guo S.B., Zhang D.P., Lin X.H. Identification and mapping of a novel bacterial blight resistance gene *Xa35(t)* originated from *Oryza minuta*. *Scientia Agricultura Sinica*. 2010; 43(13).
5. Hutin M., Sabot F., Ghesquière A., Koebnik R., Szurek B. A knowledge-based molecular screen uncovers a broad-spectrum OsSWEET14 resistance allele to bacterial blight from wild rice. *The Plant Journal*. 2015; 84:694–703.
6. Jiang N., Yan J., Liang Y., Shi Y., He Z., Wu Y., Zeng Q., Liu X., Peng J. Resistance Genes and their Interactions with Bacterial Blight/Leaf Streak Pathogens (*Xanthomonas oryzae*) in Rice (*Oryza sativa* L.) – an Updated Review // *Rice*. 2020. V. 13. No. 3.
7. Jin X.W., Wang C.L., Yang Q., Jiang Q.X., Fan Y.L., Liu G.C., Zhao K.J. Breeding of near-isogenic line CBB30 and molecular mapping of *Xa30(t)*, a new resistance gene to bacterial blight in rice. *Scientia Agricultura Sinica*. 2007; 40:1094–100.
8. Korinsak S., Sriprakhon S., Sirithanya P., Jairin J., Korinsak S., Vanavichit A., Toojinda T. Identification of microsatellite markers (SSR) linked to a new bacterial blight resistance gene *Xa33(t)* in rice cultivar 'Ba7'. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2009; 3:235–47.
9. Khush, G S. What will it take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030? *Plant Molecular Biology*. 2005; 59:1–6.
10. Khush G.S., Bacalangco E. and Ogawa T. A new gene for resistance to bacterial blight from *Oryza longistaminata*. *Rice Genetics Newsletter*. 1990; 7:121–2.
11. Lee B.M., Park Y.J., Park D.S., Kang H.W., Kim J.G., Song E.S., Park I.C., Yoon U.H., Hahn J.H. et al. The genome sequence of *Xanthomonas oryzae* pathovar *oryzae* KACC10331, the bacterial blight pathogen of rice. *Nucleic Acids Research*. 2005; 33:577–86.
12. Lin X.H., Zhang D.P., Xie Y.F., Gao H.P., Zhang Q. Identification and mapping of a new gene for bacterial blight resistance in rice based on RFLP markers. *Phytopathology*. 1996; 86:1156–9.
13. Miao L.L., Wang C.L., Zheng C.K., Che J.Y., Gao Y., Wen Y.C., Li G.Q., Zhao K.J. Molecular mapping of a new gene for resistance to rice bacterial blight. *Scientia Agricultura Sinica*. 2010; 43(15):3051–8.
14. Ram T., Laha G.S., Gautam S.K., Ram D., Madhav M.S., Brar D.S., Viraktamath B.C. Identification of a new gene introgressed from *Oryza brachyantha* with broad-spectrum resistance to bacterial blight of rice in India. *Rice Genetics Newsletter*. 2010; 25:57.
15. Ramalingam J., Vera Cruz C.M., Kukreja K., Chittoor J.M., Wu J.L., Lee S.W., Baraoidan M., George M.L., Cohen M.B., Hulbert S.H., Leach J.E., Leung H. Candidate defense genes from rice, barley, and maize and their association with qualitative and quantitative resistance in rice. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2003; 16:14–24.
16. Sanchez A.C., Ilag L.L., Yang D., Brar D.S., Ausubel F., Khush G.S., Yano M., Sasaki T., Li Z., Huang N. Genetic and physical mapping of *xa13*, a recessive gene bacterial blight resistance gene in rice. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999; 98:1022–8.
17. Sidhu G.S., Khush G.S. Dominance reversal of a bacterial blight resistance gene in some rice cultivars. *Phytopathology*. 1978; 68:461–3.
18. Wang W., Zhai W., Luo M., Jiang G., Chen X., Li X., Wing R.A. and Zhu L. Chromosome landing at the bacterial blight resistance gene *Xa4* locus using a deep coverage rice BAC library. *Molecular Genetics & Genomics*. 2001; 265:118–2.
19. Yogesh V., Dharminder B. Genetics and genomics of bacterial blight resistance in rice // *Advances in International Rice Research*, Intech Open, 2017. DOI: 10.5772/67361.
20. Yoshimura S., Umehara Y., Kurata N., Nagamura Y., Sasaki T., Minobe Y., Iwata N. Identification of a YAC Clone Carrying the *Xa1* allele, a bacterial blight resistance gene in rice. *Theoretical and Applied Genetics*. 1996; 93:117–22.
21. Zhang Q. Genetics of quality resistance and identification of major resistance genes to rice bacterial blight. In: Zhang Q, editors. *Genetics and Improvement of Resistance to Bacterial Blight in Rice*. Science Press, Beijing; 2007. P. 130–77.
22. Zheng C.K., Wang C.L., Yu Y.J., Liang Y.T. and Zhao K.J. Identification and molecular mapping of *Xa32(t)*, a novel resistance gene for bacterial blight (*Xanthomonas oryzae pv. oryzae*) in rice. *Acta Agronomica Sinica*. 2009; 35:1173–80.

Поступила: 24.02.22; доработана после рецензирования: 21.03.22; принята к публикации: 15.03.21.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Костылев П.И. – поиск и анализ информации; Костылев П.И., Черткова Н.Г. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ФОРМАТ

Е.Г. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;
А.А. Донцова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;
Д.П. Донцов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;
Э.С. Дорошенко, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимого ячменя, ORCID ID: 0000-0002-0787-9754;
Р.Н. Брагин, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ярового ячменя, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В современной селекции при создании сортов значительное внимание необходимо уделять их адаптивной способности, т.е. параметрам, обеспечивающим стабильную урожайность в различных условиях произрастания. Контрастность климата является одной из основных причин создания адаптированных сортов ярового ячменя, выраженного в одном из приоритетных направлений селекции в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». Вследствие этого цель исследований заключалась в создании нового среднеспелого сорта ярового ячменя, обладающего высокой адаптивной способностью. Дана всесторонняя оценка хозяйственно-ценных признаков нового сорта ярового ячменя Формат. Данный сорт создан методом внутривидовой гибридизации, проведен индивидуальный отбор в гибридной комбинации сортов Астория (Франция) и Ратник («АНЦ «Донской», РФ). Исследования проводили в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» в 2019–2021 годах. Установлено, что новый сорт ярового ячменя Формат обладает более высокой урожайностью, выраженной в большем количестве продуктивных стеблей на м² по сравнению со стандартным сортом. В годы проведения исследований средняя прибавка урожайности к стандарту составила 0,6 т/га. Значения массы 1000 зерен у нового сорта варьировали в пределах 38,8–47,3 г, превышая стандарт в среднем на 4,8 г. Расчет показателей экологической пластичности и стабильности выявил, что сорт Формат с коэффициентом линейной регрессии $b_1 = 1,21$ более отзывчив на изменение условий выращивания и способен формировать высокую урожайность при улучшении условий среды. Анализ результатов экологических испытаний показал способность сорта Формат формировать высокую урожайность независимо от условий выращивания.

Ключевые слова: яровой ячмень, сорт, урожайность, экологическое испытание, адаптивность.

Для цитирования: Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н. Сорт ярового ячменя Формат // Зерновое хозяйство России. Т. 14. № 2. С. 48–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-48-53.



SPRING BARLEY VARIETY 'FORMAT'

E.G. Filippov, Candidate of Agricultural Sciences, docent, head of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;
A.A. Dontsova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;
D.P. Dontsov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;
E.S. Doroshenko, researcher of the department of winter barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-0787-9754;
R.N. Bragin, junior researcher of the department of spring barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X
Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

In current breeding, when developing varieties, considerable attention must be paid to their adaptability, i.e. parameters that ensure stable productivity under various growing conditions. Climate contrast is one of the main reasons for the development of adaptable spring barley varieties, expressed in one of the priority areas of breeding at the Agricultural Research Center "Donskoy". As a result, the purpose of the current study was to develop a new middle-ripen spring barley variety with a high adaptability. There has been given a comprehensive estimation of the economically valuable traits of a new spring barley variety 'Format'. This spring barley variety was developed by the method of intraspecific hybridization. There has been carried out an individual selection in a hybrid combination of the varieties 'Astoria' (France) and 'Ratnik' ("ARC "Donskoy", RF). The study was conducted at the Agricultural Research Center "Donskoy" in 2019–2021. There has been established that the new spring barley variety 'Format' has a higher productivity, expressed in a greater number of productive stems per square meter compared to the standard variety. During the years of study, the mean productivity increase was 0.6 t/ha to the standard. The value of 1000-grain weight in the new variety ranged within 38.8–47.3 g, exceeding the standard by 4.8 g. The estimation of ecological adaptability and stability indicators has identified that the variety 'Format' with a linear regression coefficient $b_1 = 1.21$ responsive to changing growing conditions and is able to form high yields when environmental conditions improve. An analysis of

the results of environmental tests has shown the ability of the variety 'Format' to form high yields regardless of growing conditions.

Keywords: spring barley, variety, productivity, environmental test, adaptability.

Введение. Яровой ячмень является одной из наиболее важных культур в растениеводстве мира после пшеницы и риса. История его выращивания и селекции начинается с древних времен (Филиппов и др., 2021; Pankin and fon Korff, 2017; Sujetovienè et al., 2018, Wiegmann et al., 2019).

Яровой ячмень характеризуется как культура с высокими показателями устойчивости как к биотическим, так и абиотическим стресс-факторам, неприхотливостью к плодородию почвы и значимыми показателями устойчивости к поражающим болезням.

Кроме того, яровой ячмень – одна из ключевых зернофуражных и кормовых культур, повышенная урожайность которой формируется за счет скороспелости и засухоустойчивости (по сравнению с другими зернофуражными культурами) (Raracz et al., 2012).

Ростовская область является одним из крупнейших производителей зерна ячменя. В последнее десятилетие его посевная площадь варьировала от 279,2 до 439,8 тыс. га при средней урожайности от 1,7 т/га в неблагоприятном острозасушливом 2018 г. до 2,8 т/га в плодородном влагообеспеченном 2017 г., что в среднем составило 2,4 т/га (Филиппов и др., 2021).

В связи со значительными колебаниями урожайности по годам необходимо обеспечить стабильность производства зерна, так как это является одним из ключевых факторов развития сельского хозяйства в России. А потому в современной селекции при создании сортов значительное внимание необходимо уделять их адаптивной способности, т.е. параметрам, обеспечивающим стабильную урожайность в различных условиях произрастания (Морозов и др., 2021).

Создание новых сортов ярового ячменя, адаптированных к резко контрастным погодным условиям последнего десятилетия, является одним из приоритетных направлений в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2019–2021 гг. в научном севообороте отдела селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «АНЦ «Донской». Почва на опытном участке характеризуется черноземом (подтип – обыкновенный), с повышенным содержанием гумуса в пахотном слое – 3,0–3,5% (ГОСТ 26213-91). Содержание основных макроэлементов в почве варьировало: фосфор – 15–20 мг/кг почвы (метод Б.П. Мачигина, ГОСТ 26205-91), обменный калий – 300–500 мг/кг (метод Б.П. Мачигина, ГОСТ 26205-91), азот – 75–105 мг/кг (ГОСТ 26107-84).

При создании нового сорта применяли один из основных методов, принятых в селекции ячменя, – межсортовая внутривидовая гибридизация сортов, отдаленных по эколого-географическому расположению, с дальнейшим

индивидуальным отбором из гибридной комбинации. Посев в конкурсном сортоиспытании осуществляли сеялкой Wintersteiger Plotseed. Площадь учетной делянки – 10 м² в 6-ти кратной повторности. Норма высева составила 500 всхожих зерен на 1 м². В качестве стандарта высевался районированный сорт Ратник. В течение всего вегетационного периода производились фенологические наблюдения.

Оценку селекционного материала с наблюдениями и учетами всех фаз развития осуществляли согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Математическая обработка и анализ полученных данных проводили по методике Б.А. Доспехова (2014).

Для весны 2019 г. был характерен повышенный температурный режим: март – 5,0 °С (+3,0 °С к среднемноголетней), апрель – 11,3 °С (+0,6 °С), май – 19 °С (+2,5 °С). Осадки выпадали неравномерно. Так, в марте выпало 58,0 мм (+21,0 мм к среднемноголетнему показателю), апреле – 27,2 мм (-15,5 мм) и мае – 57,4 мм (+6,5 мм). В июне наблюдалось заметное усиление засушливости. Так, при среднемесячной температуре воздуха 25,2 °С (+4,7 °С к среднемноголетней) количество выпавших осадков было всего 10,8 мм при среднемноголетнем показателе 71,3 мм. Такие же показатели были и в первой декаде июля. Фаза налива зерна ярового ячменя проходила в неблагоприятных условиях (повышенный температурный режим, недостаток влаги, присутствие суховейных явлений).

Весна 2020 г. характеризовалась повышенным температурным режимом в марте -7,7 °С (+5,7 °С к среднемноголетней), однако в апреле и мае среднесуточная температура воздуха отмечалась на уровне среднемноголетних значений, что составило 9,1 и 16,5 °С, соответственно. Осадки выпадали неравномерно. Так, в марте и апреле они вообще отсутствовали (0,0 мм). А в мае выпало 79,9 мм (+28,9 мм к среднемноголетнему показателю). В июне наблюдалось усиление засушливости. Так, при среднемесячной температуре воздуха в июне 23,1 °С (+2,7 °С к среднемноголетней) количество выпавших осадков было 38,5 мм при среднемноголетнем показателе 71,3 мм. В июле также среднемесячная температура воздуха была выше среднемноголетней – 25,7 °С (+2,6 °С к среднемноголетней).

Погодные условия весны 2021 г. характеризовались повышенным температурным режимом (1,2 °С) к среднемноголетнему и обилием осадков 243,9 мм (+112,9 мм к среднемноголетним). В марте выпало 83,2 мм осадков (46,2 мм к среднемноголетним), а среднесуточная температура воздуха составила 2,3 °С. В апреле наблюдалось небольшое снижение среднесуточной температуры воздуха – на 0,7 °С по отно-

шению к среднемноголетним данным, составив 10 °С. В мае наблюдался повышенный температурный режим 18,1 °С (+1,6 °С к среднемноголетнему) с месячным количеством осадков 65,0 мм, превысив среднемноголетнее значение на 13,5 мм. Относительно высокие показатели выпавших осадков отмечены в июне – 103,5 мм (+32,2 мм к среднемноголетним). Июль выделился повышенным температурным режимом – 26,7 °С (+3,6 °С к среднемноголетнему) с низким количеством осадков – 24,6 мм (при 57,7 мм среднемноголетних).

Результаты и их обсуждение. Сорт ярового ячменя Формат создан методом внутривидовой гибридизации с вовлечением последующего индивидуального отбора в гибридной комбинации сортов Астория (Secobra, Франция) и Ратник («АНЦ «Донской», РФ).

В сравнении с материнской формой (сорт Астория) Формат выделяется по ряду признаков:

- более высокая урожайность;
- крупность зерна (превышение на 2–3 г);
- продуктивная кустистость;
- высокий показатель засухоустойчивости;
- устойчивость к полеганию;
- устойчивость к поражению листовыми болезнями.

Отцовскую форму (сорт Ратник) Формат превосходит по следующим показателям:

- более высокая урожайность;
- крупность зерна (превышение на 5–6 г);
- устойчивость к полеганию;

– устойчивость к поражению листовыми болезнями.

Сорт Формат представлен разновидностью *submedicum*. Колос двурядный, прямостоячий, выраженной цилиндрической формы, рыхлый, соломенно-желтой окраски; колосковая чешуя узкая, равна зерновке. Боковые стерильные колоски от параллельного до слегка отклоненного. Длинные и эластичные ости, которые в средней части бывают гладкими или имеют зазубренность от мелкой до средней. Средняя зазубренность на кончиках остей. Крупная по массе зерновка полуокруглой (эллиптической) формы. Щетинка у основания зерновки волосистая при длинном типе опушения. Нервация цветковых чешуй и зазубренность внутренних боковых нервов отсутствует или очень слабая. Соломина имеет среднюю высоту (80–88 см), полая, отличается прочностью и устойчивостью к полеганию.

Сорт Формат относится к группе среднеспелых, вегетационный период которых (всходы – хозяйственная спелость) составляет 83–87 дней. Основные фазы развития (колошение, созревание) наступают одновременно со стандартным сортом Ратник.

При изучении в конкурсном сортоиспытании на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» (2019–2021 гг.) сорт Формат формировал урожайность в пределах от 4,3 до 5,3 т/га, что превышало в среднем на 0,6 т/га стандарт Ратник ($НСР_{05} = 0,23$) (рис. 1).

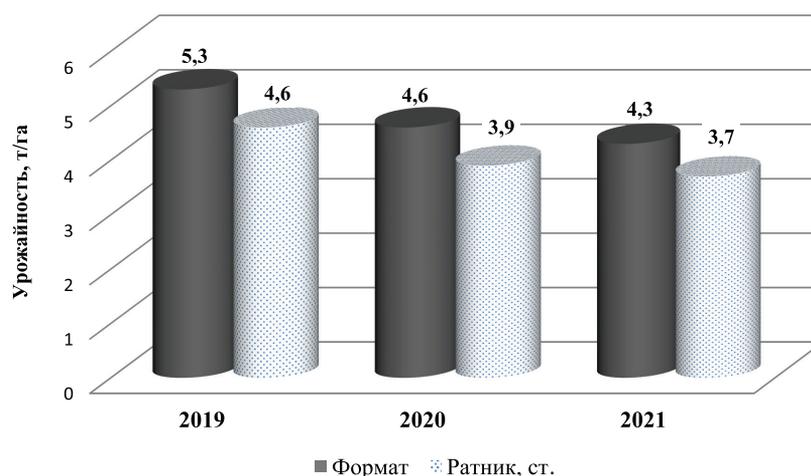


Рис. 1. Урожайность нового сорта Формат в сравнении со стандартом (2019–2021 гг.)
Fig. 1. Productivity of the new variety Format compared to the standard (2019–2021)

Значения массы 1000 зерен у нового сорта варьировали в пределах 38,8–47,3 г, превышая стандарт в среднем на 4,8 г ($НСР_{05} = 2,36$). Формирование большего количества продук-

тивных стеблей на 1 м² также повлияло на формирование более высокой урожайности сорта Формат по сравнению со стандартным сортом Ратник (рис. 2).

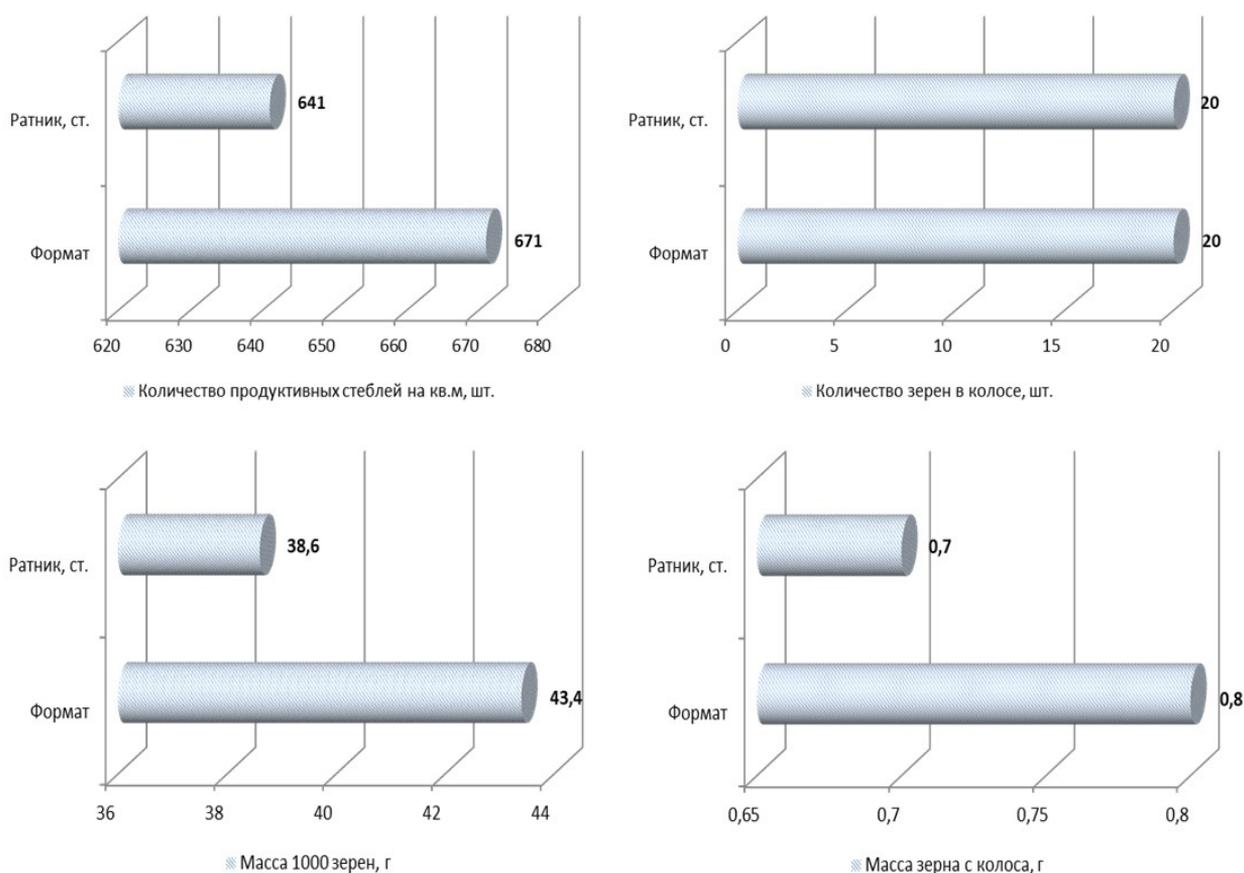


Рис. 2. Элементы структуры урожайности (в среднем за 2019–2021 гг.)

Fig. 2. Yield structure elements (mean in 2019–2021)

Формат является сортом универсально-направленного использования (на пивоваренные, продовольственные цели и фураж). Содержание белка в зерне в зависимости от технологии возделывания может варьировать от 11,1 до 13,2%.

Расчет показателей экологической пластичности и стабильности выявил, что сорт Формат с коэффициентом линейной регрессии $b_i = 1,21$ более отзывчив на изменение условий

выращивания, чем стандарт Ратник ($b_i = 0,75$), и способен формировать высокую урожайность при улучшении условий среды. Согласно общепринятой классификации при коэффициенте вариации от 10 до 20% новый сорт ($V = 19,5\%$) имеет среднюю изменчивость. По показателю уровня стабильности сорт Формат находился на уровне стандарта (ПУСС = 103,1%) и оба сорта выделились как стабильные: Ратник $\sigma^2d = 0,3$, Формат $\sigma^2d = 0,8$ (табл. 1).

Таблица 1. Показатели экологической пластичности и стабильности (2019–2021 гг.)
Table 1. Indicators of ecological adaptability and stability (2019–2021)

Название сорта	Средняя урожайность за год, т/га			Y_i^*	V^*	ПУСС*	b_i^*	σ^2d^*
	2019	2020	2021					
Ратник, ст.	4,3	3,9	3,5	3,9	14,3	100	0,75	0,3
Формат	5,3	4,6	4,0	4,6	19,5	103,1	1,21	0,8
I_j^*	0,55	-0,08	-0,48	–	–	–	–	–

* Y_i – средняя урожайность за годы исследований; I_j – индекс условий среды (характеризует изменчивость условий, в которых выращивали сорта в данном опыте); V – коэффициент вариации (показывает степень изменчивости по отношению к средней урожайности); ПУСС – показатель уровня стабильности сорта (показывает стабильность сорта по отношению к стандарту); b_i – коэффициента линейной регрессии (отражает изменчивость сорта с учетом улучшений условий выращивания); σ^2d – среднеквадратическое отклонение (отображает стабильность сорта в представленных условиях среды).

Согласно индексу условий среды, наиболее благоприятные условия выращивания сложились в 2019 г. ($I_j = 0,55$), а неблагоприятные – в 2021 г. ($I_j = -0,48$).

Значения вышеперечисленных показателей экологической пластичности и стабильности оказались выше у сорта Формат, чем у сорта

Ратник, что свидетельствует о его более высокой агроэкологической адаптивности.

В таблице 2 представлены результаты изучения сорта Формат на демонстрационных участках Ростовской области и Краснодарского края в 2019 году.

Таблица 2. Результаты экологических испытаний (2019 г.)
Table 2. Environmental test results (2019)

Название сорта	Урожайность	
	т/га	± к ст.
СПКК «50 лет Октября», Неклиновский р-н, Ростовская обл.		
Ратник, ст.	5,9	–
Формат	6,2	+0,3
ООО «Сфера», Кореновский р-н, Краснодарский край		
Ратник, ст.	4,2	–
Формат	4,6	+0,4

В 2020–2021 гг. на экологическом испытании в ЗАО «Агрофирма Павловская Нива» (Воронежская область) сорт Формат формировал наибольшую урожайность (табл. 3).

Таблица 3. Результаты изучения сортов ярового ячменя в ЗАО «Агрофирма Павловская Нива», Воронежская область (2020 г.)
Table 3. Study results of the spring barley varieties in the ZAO “Agrofirma Pavlovskaya Niva”, Voronezh region (2020)

Название сорта	Урожайность	
	т/га	± к стандарту
Приазовский 9, ст.	5,30	–
Формат	6,03	+0,7

В 2021 г. новый сорт показывал стабильные прибавки к стандарту в разных регионах, что свидетельствует о его способности формировать высокую урожайность независимо от условий выращивания (табл. 4).

Таблица 4. Результаты экологических испытаний (2021 г.)
Table 4. Results of ecological trials (2021)

Название сорта	Урожайность	
	т/га	± к стандарту
ОПХ «Луч», Ставропольский край		
Ратник, ст.	3,4	
Формат	4,0	+0,6
ООО «Продукты», Астраханская обл.		
Ратник, ст.	3,6	
Формат	3,8	+0,2
ЗАО «Обливская сельхозхимия», Ростовская обл.		
Ратник, ст.	3,4	
Формат	3,6	+0,2

Выводы. Создан новый среднеспелый сорт ярового ячменя Формат, который внесен в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений РФ в 2020 г., он характеризуется высокими показателями урожайности и адаптивности к различным условиям выращивания. Сорт рекомендован для хозяйственного использования в Северо-Кавказском, Центральном-Черноземном и Нижневолжском регионах РФ.

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 2014. 336 с.
2. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: ООО «Группа Компаний Море», 2019. Вып. 1. 384 с.
3. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка исходного материала ярового ячменя на адаптивность к засушливым условиям Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(78). С. 29–34. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-77-5-29-34>.
4. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Брагин Р.Н. Новый раннеспелый сорт ярового ячменя Федос // Зерновое хозяйство России. 2021. 1(74). С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-11-16.
5. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н., Засыпкина И.М., Попова О.А., Попов А.С. Возделывание ярового ячменя в Ростовской области. Методические рекомендации. Саратов, 2021. 54 с.
6. Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*) // Current Opinion in Plant Biology. 2017; 36: 15–21. DOI: 10.1016/j.pbi.2016.12.001.
7. Rapacz M., Stepień A., Skorupa K. Internal Standards for quantitative rt-pcr studies of gene expression under drought Treatment in Barley (*hordeum vulgare* L.): the Effects of developmental Stage

and Leaf Age // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012. № 5(64). P. 1723–1733. DOI:10.1007/s11738-012-0967-1.

8. Sujetovienė G., Velička R., Kanapickas A., Kriauciūnienė Z., Romanovskaja D., Bakšienė E., Vagusevičienė I., Klepeckas M. and Juknys R. Climate-change-related long-term historical and projected changes to spring barley phenological development in Lithuania // *The Journal of Agricultural Science*, 2018. V. 156. Iss. 9. P. 1061–1069. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000904>.

9. Wiegmann M., Pillen K., Maurer A., Thomas W.T.B., Bull H.J., Flavell A.J., Zeyner A., Peiter E. Wild Barley Serves as a Source for Biofortification of Barley Grains // *Plant Science*, 2019. V. 283. P. 83–94. DOI: 10.1016/j.plantsci. 2018. 12.030.

References

1. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Kolos, 2014. 336 s.

2. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Moskva: OOO «Gruppa Kompanii More», 2019. Vyp. 1. 384 s.

3. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Otsenka iskhodnogo materiala yarovogo yachmenya na adaptivnost' k zasushlivym usloviyam Stavropol'skogo kraja [Estimation of the initial material of spring barley for adaptability to arid conditions of the Stavropol Territory] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 5(78). S. 29–34. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-77-5-29-34>.

4. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Bragin R.N. Novyi rannespelyi sort yarovogo yachmenya Fedos [A new early ripening spring barley variety 'Fedos'] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. 1(74). S. 11–16. DOI:10.31367/2079-8725-2021-74-2-11-16.

5. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Doroshenko E.S., Bragin R.N., Zasypkina I.M., Popova O.A., Popov A.S. Vozdelyvanie yarovogo yachmenya v Rostovskoi oblasti [Spring barley cultivation in the Rostov region]. Metodicheskie rekomendatsii. Saratov, 2021. 54 s.

6. Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*) // *Current Opinion in Plant Biology*. 2017; 36: 15–21. DOI: 10.1016/j.pbi. 2016.12.001.

7. Rapacz M., Stepień A., Skorupa K. Internal Standards for quantitative rt-pcr studies of gene expression under drought Treatment in Barley (*hordeum vulgare* L.): the Effects of developmental Stage and Leaf Age // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012. № 5(64). P. 1723–1733. DOI:10.1007/s11738-012-0967-1.

8. Sujetovienė G., Velička R., Kanapickas A., Kriauciūnienė Z., Romanovskaja D., Bakšienė E., Vagusevičienė I., Klepeckas M. and Juknys R. Climate-change-related long-term historical and projected changes to spring barley phenological development in Lithuania // *The Journal of Agricultural Science*, 2018. V. 156. Iss. 9. R. 1061–1069. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000904>.

9. Wiegmann M., Pillen K., Maurer A., Thomas W.T.B., Bull H.J., Flavell A.J., Zeyner A., Peiter E. Wild Barley Serves as a Source for Biofortification of Barley Grains // *Plant Science*, 2019. V. 283. P. 83–94. DOI: 10.1016/j.plantsci. 2018. 12.030.

Поступила: 14.03.22; доработана после рецензирования: 23.03.22; принята к публикации: 23.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Филиппов Е.Г. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Донцова А.А. – анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Донцов Д.П., Брагин Р.Н. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи; Дорошенко Э.С. – выполнение полевых опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

Е.И. Некрасов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, 89585748977@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9505-7899;

Д.М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

М.М. Иванисов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ivaniso561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Важным аспектом в селекционных программах является увеличение потенциала урожайности озимой пшеницы. В то же время от современных генотипов требуется не только высокая продуктивность с соответствующим качеством зерна, но и устойчивость к неблагоприятному воздействию условий выращивания. Таким образом, изучение генотипа по взаимодействию с окружающей средой является неотъемлемым компонентом при поиске путей для дальнейшего повышения продуктивности сортов. Цель этого исследования состояла в том, чтобы определить стабильность и взаимодействие генотипа с окружающей средой сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». В опыте изучали 14 сортов озимой мягкой пшеницы, выращенных по предшественнику подсолнечник в 2018–2021 годах. В результате исследований было установлено, что на формирование урожайности оказал наибольшее влияние фактор «год» – 53,72%, на фактор «сорт» приходилось 20,17%, а совокупность факторов «год × сорт» оценивалась в 22,40%. В среднем за годы исследований урожайность по сортам изменялась от 4,81 т/га (Дон 107) до 5,38 т/га (Золотой колос). Высокую отзывчивость на изменение условий среды показали сорта Лидия ($b_i = 1,04$), Жаворонок ($b_i = 1,32$), Капризуля ($b_i = 1,41$), Лилит ($b_i = 1,44$), Подарок Крыму ($b_i = 1,59$) и Краса Дона ($b_i = 1,64$). Высокими показателями гомеостатичности и низкими значениями коэффициента вариации характеризовались сорта Полина ($Hom = 94,27$; $Cv = 8,90\%$) и Аюта ($Hom = 238,85$; $Cv = 5,73\%$).

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, урожайность, экологическая пластичность, гомеостатичность.

Для цитирования: Некрасов Е.И., Марченко Д.М., Иванисов М.М. Экологическая пластичность сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 54–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-54-58.



ESTIMATION OF ADAPTABLE PROPERTIES OF WINTER BREAD WHEAT VARIETIES DEVELOPED BY THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

E.I. Nekrasov, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, 89585748977@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9505-7899;

D.M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

M.M. Ivanisov, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, ivaniso561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910
Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

An important aspect in breeding programs is to increase a potential of winter wheat productivity. At the same time, modern genotypes are required to possess not only high productivity with appropriate grain quality, but also resistance to the unfavorable effects of growing conditions. Thus, the study of the genotype according to its interaction with the environment is an integral component in the search for ways to further productivity increase of varieties. The purpose of the current study was to identify the stability and interaction of the genotype with the environment in the winter bread wheat varieties developed by the FSBSI “ARC “Donskoy”. In the study there were used 14 varieties of winter bread wheat grown after sunflower in 2018–2021. As a result of the study, there was found that the factor “year” had the greatest effect on productivity (53.72%), the factor “variety” influences on productivity on 20.17%, and the correlation of the factors “year × variety” affected on productivity on 22.40%. On average, through the years of study, the varieties’ productivity ranged from 4.81 t/ha (the variety ‘Don 107’) to 5.38 t/ha (the variety ‘Zolotoy Kolos’). The varieties ‘Lidiya’ ($b_i = 1.04$), ‘Zhavoronok’ ($b_i = 1.32$), ‘Kaprizulya’ ($b_i = 1.41$), ‘Lilit’ ($b_i = 1.44$), ‘Podarok Krymu’ ($b_i = 1.59$) and ‘Krasa Dona’ ($b_i = 1.64$) have shown a strong responsiveness to the changes of the environment. The varieties ‘Polina’ ($Hom = 94.27$; $Cv = 8.90\%$) and ‘Ayuta’ ($Hom = 238.85$; $Cv = 5.73\%$) were characterized by high homeostatic indices and low values of the coefficient of variance.

Keywords: winter bread wheat, variety, productivity, ecological adaptability, homeostaticity.

Введение. Пшеница (*Triticum aestivum*) является одной из главных зерновых культур и основным продуктом питания во всем мире, поскольку она растет как в умеренных, так и в более теплых регионах, устойчива к засухе и морозам. Пшеничное зерно питательно, оно состоит из крахмала, клетчатки, витаминов В и Е, железа и антиоксидантов. Кроме того, в нем содержится клейковина, способная формировать полностью эластичное тесто для выпечки хлеба, а также является во всем мире важным ингредиентом в секторе пищевой промышленности для приготовления различных продуктов питания (Gupta, 2021).

В настоящее время *Triticum aestivum* L. – одна из основных возделываемых культур в Ростовской области. Ее преимущество в сравнении с яровой пшеницей заключается в способности формирования более высокой продуктивной кустистости, веса зерна с колоса и массы 1000 зерен, которые, в свою очередь, вносят основной вклад в урожайность сортов (Некрасова, 2014; Костылев и др., 2015).

Известно, что фундаментально важным аспектом в селекционных программах является увеличение потенциала урожайности озимой пшеницы (Потанин и др., 2014; Некрасова и др., 2017). В то же время от современных генотипов требуется не только высокая урожайность с соответствующим качеством зерна, но и устойчивость к влиянию неблагоприятных факторов среды. Таким образом, изучение генотипа по взаимодействию с окружающей средой является неотъемлемым компонентом при поиске путей для дальнейшего повышения продуктивности сортов.

Стабильность урожая в различных экологических условиях может обеспечить высокая адаптивность сорта, которая определяется гомеостатичностью его генотипа. Применение селекционных программ, направленных на повышение гомеостаза, приобретает особое значение для регионов с недостаточной влагообеспеченностью. При этом на протяжении всей научной работы важна комплексная оценка сортов для использования его в качестве источников и доноров. Чтобы изучить сорт с позиции целесообразности выращивания в различных климатических условиях и выявить непосредственную реакцию на воздействие этого фактора, используются такие характеристики, как экологическая пластичность и стабильность изучаемых генотипов. На основе взаимодействия «генотип – среда» разработаны метод и статистическая база исследований адаптивности. В своем исследовании Эберхарт и Рассел (1966) рассчитали по среднему урожаю зерна коэффициент регрессии и дисперсию ошибки регрессии, которые определяют экологическую адаптивность сортов (Рипбергер и др., 2015).

Цель этого исследования состояла в том, чтобы определить стабильность и взаимодействие генотипа с окружающей средой сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Материалы и методы исследований. В опыте изучали 14 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2018–2021 гг., выращенных по предшественнику подсолнечник. Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed на делянках площадью 10 м² в четырехкратной повторности. Стандартный сорт – Дон 107. Полевые оценки, учеты, наблюдения, выполняли согласно Методике государственного сортоиспытания (1989).

Зона возделывания представлена обыкновенным черноземом с содержанием гумуса 3,6–4,0%, имеет сильно выраженную карбонатность.

Климат характеризуется как зона неустойчивого увлажнения с преимуществом засушливых периодов. Среднегодовое количество осадков 588,8 мм, среднегодовая температура 9,7 °С.

Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed на делянках площадью 10 м² в четырехкратной повторности, стандартный сорт Дон 107. Полевые оценки, учеты, наблюдения выполняли согласно Методике государственного сортоиспытания (1989). Оценку экологической пластичности и стабильности осуществляли по методике S.A. Ebeahart, W.A. Russell в изложении В.А. Зыкина (2005), гомеостатичности – по методике В.В. Хангильдина и Н.А. Литвиненко (1981). Математическую обработку данных проводили по методике Б.А. Доспехова (2014).

Годы проведения исследований были различными по влагообеспеченности. Так 2018 и 2020 гг. характеризовались как засушливые (недобр осадков по сравнению со среднегодовой нормой составил 135,2 и 125,1 мм соответственно) с превышением среднесуточной температуры воздуха на 2,1 и 1,6 °С. В 2019 и 2021 гг. также наблюдался дефицит осадков, но в меньших количествах (на 64,7 и 19,6 мм соответственно), а температура воздуха была выше на 1,8 и 2,0 °С.

Результаты и их обсуждение. Поскольку на реализацию генетического потенциала урожайности пшеницы в значительной степени оказывают влияние факторы внешней среды, то изучение фенотипической пластичности и адаптивности этих генотипов в интересующих почвенно-климатических условиях является актуальным (Стасюк и др., 2021).

За период исследований урожайность по сортам *Triticum aestivum* L. изменялась от 4,81 т/га (Дон 107, стандарт) до 5,38 т/га (Золотой колос).

По данному признаку в 2018 г. выделены сорта Лидия (5,58 т/га), Ермак (5,59 т/га), Золотой колос (5,67 т/га), Лилит (5,72 т/га), Капризуля (5,84 т/га) и Краса Дона (5,93 т/га), достоверно превысившие стандарт Дон 107 (4,96 т/га) на 0,62–0,97 т/га.

В 2019 г. наибольшая урожайность получена у сортов Ермак (5,16 т/га), Золотой Колос (5,28 т/га) и Премьера (5,54 т/га). Достоверное

превышение над стандартом Дон 107 (4,68 т/га) на 0,60 и 0,86 т/га отмечено у сортов Золотой колос и Премьера.

По данному признаку в 2020 г. выделены сорта Ермак (4,30 т/га), Лилит (4,67 т/га),

Полина (4,69 т/га), Лидия (4,73 т/га), Изюминка (4,77 т/га), Золотой колос (4,85 т/га), Вольный Дон (5,06 т/га) и Аюта (5,17 т/га), достоверно превысившие стандарт Дон 107 (4,04 т/га) на 0,26–1,13 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов и индекс условий среды (2018–2021 гг.)
Table 1. Productivity of the varieties and an environmental index (2018–2021)

Сорт	Год				Средняя урожайность, т/га
	2018	2019	2020	2021	
Дон 107, ст.	4,96	4,68	4,04	5,54	4,81
Ермак	5,59	5,16	4,30	5,75	5,20
Изюминка	5,34	4,52	4,77	5,76	5,10
Лидия	5,58	4,42	4,73	5,96	5,17
Капризуля	5,84	4,54	4,16	5,94	5,12
Лилит	5,72	4,23	4,67	6,43	5,26
Краса Дона	5,93	4,56	4,01	6,14	5,16
Вольный Дон	5,34	4,78	5,06	6,20	5,35
Жаворонок	5,43	4,80	4,06	6,00	5,07
Полина	5,28	4,83	4,69	5,01	4,95
Подарок Крыму	5,09	4,70	3,57	6,08	4,86
Премьера	5,16	5,54	3,38	5,23	4,83
Золотой колос	5,67	5,28	4,85	5,70	5,38
Аюта	5,05	4,83	5,17	5,20	5,06
Средняя урожайность, т/га	5,43	4,78	4,39	5,78	5,09
НСР ₀₅	0,49	0,60	0,25	0,35	–
I _j *	+0,33	-0,32	-0,70	+0,69	–

* Индекс условий среды.

В 2021 г. по урожайности стандарт Дон 107 (5,54 т/га) превысили сорта Капризуля (5,94 т/га), Лидия (5,96 т/га), Жаворонок (6,00 т/га), Подарок Крыму (6,08 т/га), Краса Дона (6,14 т/га), Вольный Дон (6,20 т/га) и Лилит (6,43 т/га), прибавка составила 0,40–0,89 т/га.

После анализа значений индексов условий среды было установлено, что 2018 и 2021 гг. сложились благоприятно для формирования урожайности изучаемых сортов (I_j = +0,33 и +0,69 соответственно), а 2019 и 2020 гг. оказа-

лись недостаточно благоприятными для возделывания данной культуры (I_j = -0,32 и -0,70 соответственно).

В результате изучения влияния генотипа (фактор А), условий выращивания (фактор В) и их взаимодействия на формирование урожайности было установлено, что действие фактора «год» составляло 53,72%, на фактор «сорт» приходилось 20,17%, а на совокупность факторов «сорт x год» – 22,40% (табл. 2).

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов по урожайности
Table 2. Results of the two-way analysis of variance of the varieties according to productivity

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия	F _{факт}	F _{таб. 095}	Влияние, %
Фактор А (сорт)	7,19	13	0,55	6,65	1,9	20,17
Фактор В (год)	47,33	3	15,77	189,55	2,8	53,72
Взаимодействие А x В	19,74	39	0,50	6,08	1,7	22,40

По мнению ученых (Würschum et al., 2018), выращивание адаптированных и пластичных сортов – один из менее затратных способов удовлетворить задачи экономики, дающий возможность повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить ее качество с небольшими дополнительными затратами.

Чтобы выяснить, как изменяется урожайность генотипов под воздействием окружающей среды, был рассчитан коэффициент линейной регрессии (b_i). Было выявлено, что значения данного показателя варьировали

в пределах от 0,08 у сорта (Аюта) до 1,64 у сорта (Краса Дона) (табл. 3).

Генотипы Аюта, Полина, Золотой колос, Изюминка, Вольный Дон, стандарт Дон 107 и Ермак демонстрировали слабую адаптивную способность по отношению к перемене условий выращивания (b_i = от 0,08 до 0,98). Полное соответствие изменения урожайности изменению условий выращивания зафиксировано у сорта Премьера (b_i = 1), высокая отзывчивость отмечена у сортов Лидия, Жаворонок, Капризуля, Лилит, Подарок Крыму и Краса Дона (b_i = от 1,04 до 1,64).

Таблица 3. Распределение сортов в соответствии с коэффициентом линейной регрессии (b_i), (среднее за 2018–2021 гг.)
Table 3. Distribution of the varieties according to the linear regression coefficient (b_i), (mean in 2018–2021)

Признак	Коэффициент линейной регрессии		
	$b_i < 1$	$b_i = 1$	$b_i > 1$
Урожайность, т/га	Аюта (0,08)	Премьера (1)	Лидия (1,04)
	Полина (0,32)	–	Жаворонок (1,32)
	Золотой колос (0,61)	–	Капризуля (1,41)
	Изюминка (0,81)	–	Лилит (1,44)
	Вольный Дон (0,82)	–	Подарок Крыму (1,59)
	Дон 107 стандарт (0,96)	–	Краса Дона (1,64)
	Ермак (0,98)	–	–

Коэффициенты вариации сортов озимой мягкой пшеницы изменялись от 5,73 (Аюта) до 36,99% (Подарок Крыму). Слабой изменчивостью урожайности характеризовались сорта Полина и Аюта ($C_v = 8,90$ и 5,73%),

средняя изменчивость отмечена у образцов Золотой Колос, Изюминка и Вольный Дон ($C_v = 12,85–19,90\%$), у остальных изучаемых сортов зафиксирована сильная изменчивость данного признака ($C_v = > 20\%$) (табл. 4).

Таблица 4. Величины гомеостатичности и экологической стабильности сортов по изменению урожайности (среднее за 2018–2021 гг.)
Table 4. Values of homeostaticity and ecological stability of the varieties according to productivity changes (mean in 2018–2021)

Сорт	Урожайность, т/га		Коэффициент вариации (C_v), %	Гомеостатичность, (Hom)	Среднеквадратическое отклонение (σ^2d)
	max	min			
Дон 107, ст.	5,54	4,04	22,46	14,26	0,04
Ермак	5,75	4,30	21,64	16,57	0,07
Изюминка	5,76	4,77	19,00	27,09	0,09
Лидия	5,96	4,42	24,06	13,96	0,14
Капризуля	5,94	4,16	30,56	9,41	0,05
Лилит	6,43	4,23	32,86	7,28	0,27
Краса Дона	6,14	4,01	34,86	6,95	0,04
Вольный Дон	6,20	4,78	19,90	18,91	0,17
Жаворонок	6,00	4,06	28,48	9,18	0,02
Полина	5,28	4,69	8,90	94,27	0,04
Подарок Крыму	6,08	3,57	36,99	5,24	0,13
Премьера	5,54	3,38	35,13	6,36	0,85
Золотой колос	5,70	4,85	12,85	49,20	0,02
Аюта	5,20	4,83	5,73	238,85	0,04

Показатель гомеостатичности варьировал от 5,24 (Подарок Крыму) до 238,85 (Аюта). Чем незначительнее изменяется урожайность, тем выше становятся значения гомеостатичности сортов, что показывает их способность противостоять неблагоприятному влиянию условий среды (стабильность). В наших исследованиях коэффициент корреляции между изменчивостью и гомеостатичностью был сильным отрицательным ($r = -0,75$).

Наиболее стабильными, у которых отмечены высокие показатели гомеостатичности и низкие значения коэффициента вариации при дополнении данных среднеквадратического отклонения, являлись сорта Полина (Hom = 94,27; $C_v = 8,90\%$) и Аюта (Hom = 238,85; $C_v = 5,73\%$).

Выводы. В результате исследований было установлено, что среднее значение за годы исследований по урожайности у сортов озимой мягкой пшеницы изменялось от 4,81 т/га (Дон 107) до 5,38 т/га (Золотой колос). Высокую отзывчивость на изменение условий среды показали сорта Лидия ($b_i = 1,04$), Жаворонок ($b_i = 1,32$), Капризуля ($b_i = 1,41$), Лилит ($b_i = 1,44$), Подарок Крыму ($b_i = 1,59$) и Краса Дона ($b_i = 1,64$). Высокими показателями гомеостатичности и низкими значениями коэффициента вариации при дополнении данных среднеквадратического отклонения характеризовались сорта Полина (Hom = 94,27; $C_v = 8,90\%$) и Аюта (Hom = 238,85; $C_v = 5,73\%$).

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 352 с.
2. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.
3. Костылев П.И., Некрасова О.А. Изучение типов наследования ряда признаков мягкой озимой пшеницы и ее комбинационной способности // Зерновое хозяйство России. 2015. № 6(42). С. 10–15.

4. Некрасова О.А. Типы наследования высоты растений у гибридов F1 мягкой озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2014. № 11(129). С. 12–15.
5. Некрасова О.А., Костылев П.И., Некрасов Е.И. Изучение типов наследования массы 1000 зерен у гибридов F1 мягкой озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2017. № 1(49). С. 20–23.
6. Потанин В.Г., Алейников А.Ф., Степочкин П.И. Новый подход к оценке экологической пластичности сортов растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18, № 3. С. 548–552.
7. Рипбергер Е.И., Боме Н.А., Траутц Д. Изменчивость высоты растений гибридных форм яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) как способ их адаптации в различных эколого-географических условиях // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. 19(2). С. 185–190. DOI: 10.18699/VJ15.02.
8. Стасюк А.И., Леонова И.Н., Пономарева М.Л., Василова Н.З., Шаманин В.П., Салина Е.А. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology. 2021.1.78rus.
9. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы. Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1981. № 1. С. 8–14.
10. Gupta R., Meghwal, M., Prabhakar P.K. Bioactive compounds of pigmented wheat (*Triticum aestivum*): Potential benefits in human health. Trends Food Sci // Technol. 2021. 110. P. 240–252. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.003>.
11. Würschum T., Leiser W.L., Langer S.M., Tucker M.R., Longin C.F.H. Phenotypic and genetic analysis of spike and kernel characteristics in wheat reveals long-term genetic trends of grain yield components // Theor. Appl. Genet. 2018. 131(10). P. 2071–2084. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3133-3>.

References

1. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 6-e izd., pererab. i dop. Stereotip izd. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
2. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rasteniy [Methodology for calculating and estimating the parameters of ecological adaptability of agricultural plants]. Ufa: BashGAU, 2005. 100 s.
3. Kostylev P.I., Nekrasova O.A. Izuchenie tipov nasledovaniya ryada priznakov myagkoi ozimoi pshenitsy i ee kombinatsionnoi sposobnosti [The study of the types of inheritance of a number of traits of winter bread wheat and its combination ability] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 6(42). S. 10–15.
4. Nekrasova O.A. Tipy nasledovaniya vysoty rasteniy u gibridov F1 myagkoi ozimoi pshenitsy [Types of plant height inheritance in F1 hybrids of winter bread wheat] // Agrarnyi vestnik Urala. 2014. № 11(129). S. 12–15.
5. Nekrasova O.A., Kostylev P.I., Nekrasov E.I. Izuchenie tipov nasledovaniya massy 1000 zeren u gibridov F1 myagkoi ozimoi pshenitsy [The study of inheritance types of 1000-grain weight in F1 hybrids of winter bread wheat] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 1(49). S. 20–23.
6. Potanin V.G., Aleinikov A.F., Stepochkin P.I. Novyi podkhod k otsenke ekologicheskoi plastichnosti sortov rasteniy [A new approach to estimating the ecological adaptability of plant varieties] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2014. Т. 18, № 3. С. 548–552.
7. Ripberger E.I., Bome N.A., Trautts D. Izmenchivost' vysoty rasteniy gibridnykh form yarovoi myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) kak sposob ikh adaptatsii v razlichnykh ekologo-geograficheskikh usloviyakh [Variability of plant height of hybrid forms of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as a way of their adaptation in different ecological and geographical conditions] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2015. 19(2). S. 185–190. DOI: 10.18699/VJ15.02.
8. Stasyuk A.I., Leonova I.N., Ponomareva M.L., Vasilova N.Z., Shamanin V.P., Salina E.A. Fenotipicheskaya izmenchivost' selektsionnykh linii myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoi Sibiri i Tatarstana [Phenotypic variability of breeding lines of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) according to the yield structure elements in the environmental conditions of Western Siberia and Tatarstan] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2021. Т. 56, № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology. 2021.1.78rus.
9. Khangil'din V.V., Litvinenko N.A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of the winter wheat varieties]. Nauchno-tehnicheskii byulleten' VSGI. 1981. № 1. С. 8–14.
10. Gupta R., Meghwal, M., Prabhakar P.K. Bioactive compounds of pigmented wheat (*Triticum aestivum*): Potential benefits in human health. Trends Food Sci // Technol. 2021. 110. R. 240–252. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.003>.
11. Würschum T., Leiser W.L., Langer S.M., Tucker M.R., Longin C.F.H. Phenotypic and genetic analysis of spike and kernel characteristics in wheat reveals long-term genetic trends of grain yield components // Theor. Appl. Genet. 2018. 131(10). R. 2071–2084. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3133-3>.

Поступила: 14.03.22; доработана после рецензирования: 25.03.22; принята к публикации: 25.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Некрасов Е.И. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Марченко Д.М., Иванисов М.М. – выполнение полевых опытов и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕДЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА В ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОФОРЕЗА

Т.И. Фирсова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства и семеноведения, ORCID ID: 0000-0003-0582-4124;

М.М. Копусь, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 0000-0001-8824-1033;

Ю.Г. Скворцова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства и семеноведения, ORCID ID: 0000-0002-1490-2422;

Г.А. Филенко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства и семеноведения, ORCID ID: 0000-0003-4271-0003

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В работе представлены результаты изучения и оценка сортов озимой мягкой пшеницы в первичном семеноводстве (2019–2021 гг.) с использованием метода электрофореза. Для сохранения сортовой чистоты у различных сортов применялись различные методы ведения первичного семеноводства. Основным в полевых условиях является метод закладки питомников испытания потомств с двухгодичной оценкой семей по потомствам (ПИП-1 и ПИП-2), в лабораторных условиях использовался метод электрофореза, где изучался полиморфизм запасных белков глиадина у пшеницы. Целью исследований являлась оценка эффективности применения метода электрофореза запасных белков, установления сортовой чистоты и принадлежности к сорту семян озимой пшеницы в первичном семеноводстве. На основании проведенных исследований было установлено, что у сортов озимой мягкой пшеницы возможно изменение биотипного состава из гетерогенного в мономорфный в ПИП-1 путем отбора семей по морфологическим признакам (метод полевой апробации), а введение в семеноводство метода электрофореза дает возможность не только идентифицировать сорта на изменение биотипного состава глиадина в сортах, но и проследить, в каком соотношении целенаправленно в первичном семеноводстве необходимо сохранять семьи, исключая мономорфность в гетерогенных сортах. Все сорта характеризовались индивидуальным набором глиадинокодирующих локусов, что позволяет при использовании электрофореза по запасным белкам проводить идентификацию любого сорта и определять его сортовую чистоту.

Ключевые слова: сорт, электрофорез, биотип, аллель, глиадин, блок компонентов.

Для цитирования: Фирсова Т.И., Копусь М.М., Скворцова Ю.Г., Филенко Г.А. Результаты ведения первичного семеноводства в ФГБНУ «АНЦ «Донской» с использованием метода электрофореза // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-59-63.



RESULTS OF CONDUCTING THE PRIMARY SEED PRODUCTION USING THE METHOD OF ELECTROPHORESIS IN THE FSBSI ARC “DONSKOY”

T.I. Firsova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for primary seed production and seed study, ORCID ID: 0000-0003-0582-4124;

M.M. Kopus, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0001-8824-1033;

Yu.G. Skvortsova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for primary seed production and seed study, ORCID ID: 0000-0002-1490-2422;

G.A. Filenko, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for primary seed production and seed study, ORCID ID: 0000-0003-4271-0003

Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented the study and estimation results of winter bread wheat varieties in primary seed production (2019–2021) based on the method of electrophoresis. In order to maintain varietal purity in different varieties there were used different methods of primary seed production. The main method was the method of laying down the plots (a field testing method) for testing progeny with a two-year estimation of families according to progeny (PIP-1 and PIP-2). In laboratory conditions, there was used the method of electrophoresis, where there was studied the polymorphism of wheat gliadin reserve proteins. The purpose of the study was to estimate the efficiency of the method of electrophoresis on reserve proteins, to develop varietal purity and belonging of winter wheat seeds to the variety in primary seed production. On the basis of the conducted study, there was found that for winter bread wheat varieties there was possible to change the biotype composition from heterogeneous to monomorphic in PIP-1 by selecting families according to morphological traits (a field testing method), and the introduction of the method of electrophoresis into seed production made it possible not only to identify varieties on changes in the biotype gliadin composition in the varieties, but also to track the ratio in which it was necessary to purposefully preserve families in primary seed produc-

tion, excluding monomorphism in heterogeneous varieties. All varieties were characterized by an individual set of gliadin-coding loci, which allowed using electrophoresis on reserve proteins to identify any variety and its varietal purity.

Keywords: variety, electrophoresis, biotype, allele, gliadin, block of components.

Введение. В семеноводстве существует несколько методов определения сортовой чистоты семян – это полевая апробация, грунт-контроль и сортовой лабораторный анализ. Метод полевой апробации является самым распространенным и применяемым сегодня, но при его использовании проводится оценка по морфологическим признакам растения, что является субъективной оценкой так как сортовую чистоту можно определить только к моменту уборки. Грунтконтроль более точный метод, но он больше подходит для спорных и арбитражных целей, а также в научных учреждениях, где высевают семена проводят на делянках в поле с последующими фенологическими наблюдениями за растениями на протяжении всего вегетационного периода. Метод можно считать трудоемким, энергетически затратным и не устраняющим недостатки полевой апробации, связанные с возможностью засорения семян.

Из лабораторных методов сортового контроля наиболее удобным является идентификация сортов по электрофоретическому спектру глиадинов – запасных белков семян. Метод полевой апробации не дает такой объективной оценки, как метод электрофореза.

Решающую роль в производстве оригинальных семян и обеспечении ими сельхозтоваропроизводителей играют селекция и семеноводство. Селекция направлена на создание высокопластичных, с максимальной урожайностью в различных климатических зонах сортов (Nekrasova et al., 2021). Семеноводство условно делят на первичное и вторичное. Первичное семеноводство – это производство высоко репродуктивных семян, к ним относятся оригинальные семена питомников испытания потомств (ПИП-1 и ПИП-2) с применением метода индивидуально-семейственного отбора, а также питомников размножения (ОС(ПР-1) и ОС(ПР-2). Вторичное семеноводство направлено на размножение элитных семян (ЭС) и последующих репродукций (РС 1,2 и т.д.) (Березкин и др., 2012).

Для контроля и сохранения сортовой чистоты у сортов на том уровне, как их передают селекционеры, применяют различные методы ведения первичного семеноводства. Основным методом в полевых условиях является закладка питомников испытания потомств с двухгодичной оценкой семей по потомствам (ПИП-1 и ПИП-2), в лабораторных условиях используют метод электрофореза, где изучается полиморфизм запасных белков глиадина у пшеницы. Многие современные сорта озимой пшеницы являются гетерогенными и состоят из нескольких биотипов, отличающихся по нескольким аллелям. Такие сорта в процессе семеноводства сложнее поддерживать, так как составляющие их биотипы отличаются

ся по биологическим свойствам, но практически не отличаются по морфологическим признакам.

Поэтому основной целью исследований являлась оценка эффективности применения метода электрофореза запасных белков, для установления сортовой чистоты и принадлежности биотипного состава к сорту семян озимой пшеницы в первичном семеноводстве.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в 2019–2021 гг. в лаборатории первичного семеноводства и семеноведения в питомнике испытания потомств второго года на полях научного севооборота ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Материалом для исследования послужили 13 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», используемые в производстве с 2001 г. и до настоящего времени.

Подготовка почвы, посев и уходные мероприятия за растениями озимой пшеницы выполнялись согласно рекомендациям зональных систем земледелия Ростовской области (2013 г.). Посев питомника испытания потомств второго года (ПИП-2) проводили фракционной сеялкой ССФК-7 на глубину 5–6 см по предшественнику черный пар, учетная площадь делянки – 10 м². Уборку урожая осуществляли комбайном Wintersteiger Classic в фазу полной спелости.

Учеты, наблюдения и анализы проводили по Методике государственной комиссии по испытанию и охране селекционных достижений (1985) и методике полевого опыта (Доспехов, 2014). Контроль компонентного состава глиадина озимой пшеницы методом электрофореза осуществляли по рекомендации (Копусь, 1988), величину седиментационного осадка определяли по методике в изложении М.М. Копусь и др. (2010).

Результаты и их обсуждение. Всего за годы исследования (2019–2021) было проанализировано методом электрофореза 13 сортов озимой мягкой пшеницы, а их количество в первичном семеноводстве ежегодно может меняться в зависимости от потребности в семенах этих сортов.

Большое разнообразие сортов в питомниках испытания потомств необходимо для дальнейшего размножения оригинальных семян, их сортосмены и сортообновления.

Этапом первичного семеноводства является метод индивидуально-семейственного отбора с двухгодичной оценкой семей по потомству в питомнике испытания потомств (ПИП-1 и ПИП-2).

В полевых условиях браковка семей проводится по морфологическим признакам, в лабораторных условиях семьи браковались как по массе 1000 семян, так и по весу семьи.

Делянки со значительным отклонением выбраковывались.

Семьи, оставленные на посев, проверяли на соответствие сорту и наличие примеси в лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна.

Электрофоретический спектр глиаина пшеницы контролируется локусами 1A, 1B, 1D, 6A, 6B и 6D хромосом. По данным М.М. Копусь (1988), многие сорта озимой мягкой пшеницы могут иметь идентичные электрофореграммы глиаина, и их нужно различать по другим признакам.

Так, все высеваемые сорта в ПИП-1, семьи которых в полевых условиях отклонялись по морфологическим признакам, по высоте

растений и устойчивости к болезням, выбраковывали. Полевая браковка составляла от 15 до 50%. Если же возникают вопросы по апробационным признакам высеваемых сортов, то проводят проверку семей на наличие примеси в ПИП-1 по электрофорезу. В таблице 1 приведены данные комплексной оценки встречаемости аллельных блоков компонентов глиаина семей на примере сорта Ермак, оставленных после браковки. Величина признака «SDS седиментация» отражает такой показатель, как содержание клейковины в зерне. В исследованиях установлено, что биотипы, отличающиеся по одному из аллелей, имели SDS седиментацию выше, чем у исходного сорта.

Таблица 1. Оценка семей озимой пшеницы сорта Ермак в ПИП-1 по электрофорезу
Table 1. Estimation of winter wheat families of the variety 'Ermak' in PIP-1 by electrophoresis

Семьи, оставленные после браковки в поле		Аллели глиаина по локусам хромосом						SDS седиментация, мл
кол-во, шт.	%	1A	1B	1D	6A	6B	6D	
Исходный сорт		3	1	7+1	3	1	1	47–69
17	47,2	3	1	7	3	1	1	55–58
18	50,0	3	1	1	3	1	1	50–54
1	2,8	3+4	1	4+1	3	1	1	65

Исходной формой сорта Ермак является гетерогенный биотип и используется при электрофорезе как стандарт. Семьи в питомнике ПИП-1 разделились по одному из аллелей и оказались мономорфными: Gld1D7 (47,2%), который отвечает за качество, морозостойкость и устойчивость к болезням, и Gld1D1 (50,0%), влияющий на продуктивность сорта. В этом случае также была выделена примесь, не отличающаяся по морфологическому признаку, но в биотипе присутствовали аллели глиаина Gld1A4 и Gld1D4, не соответствующие этому сорту. Такие семьи в семеноводстве выбраковываются в лабораторных условиях. Структуру процентного соотношения биотип-

ного соотношения в сорте необходимо контролировать в процессе семеноводства в питомниках испытания потомств по показателям электрофореза.

Оставшиеся семьи, если сорт выравнен и электрофореграмма глиаина по формуле идентична исходной, пересеваются в ПИП-2 для дальнейшего размножения семян.

Исследования, проведенные в ПИП-2 (табл. 2), показали, что часть гетероморфных сортов при их репродукции приобретали мономорфность, а SDS седиментация увеличивалась от 1 мл у сорта Изюминка до 8 мл у сорта Лидия. У сортов Ермак и Капризуля значения SDS седиментации составили 4 мл.

Таблица 2. Электрофореграмма глиаина сортов озимой мягкой пшеницы ПИП-2
Table 2. Electrophoregram of gliadin in the winter bread wheat varieties in PIP-2

Сорт (год передачи на Государственное сортоиспытание)	Аллели глиаина по локусам хромосом						SDS седиментация, мл
	1A	1B	1D	6A	6B	6D	
Ермак (1997) ПИП-2	3	1	7+1	3	1	1	47
	3	1	7	3	1	1	51
Станичная (1998) ПИП-2	4	1	4	1	1	1	49
	4	1	4	1	1	1	58
Аскет (2007) ПИП-2	4+5	1	1+4(7)	1+3	1	1	50
	4	1	1+4(7)	1	1	1	52
Изюминка (2008) ПИП-2	3	1	1+7	1	1	1	53
	3	1	1	1	1	1	54
Лидия (2010) ПИП-2	3	1	1+7	1	1	1	42
	3	1	1	1	1	1	50
Капризуля (2012) ПИП-2	3	1	1+7	3	1	1	50
	3	1	1	3	1	1	54

Сорт (год передачи на Государственное сортоиспытание)	Аллели глиаина по локусам хромосом						SDS седиментация, мл
	1A	1B	1D	6A	6B	6D	
Лилит (2012)	3	1	1	3	1	1+2	55
ПИП-2	3	1	1	3	1	2	47
Краса Дона (2014)	3	1	7	1	1	1	56
ПИП-2	3	1	7	1	1	1	49
Этюд (2015)	4	1	7	1	1	1	54
ПИП-2	4	1	7	1	1	1	50
Донская степь (2016)	4	1	7	1	1	1	55
ПИП-2	4	1	7	1	1	1	50
Юбилей Дона (2017)	4	1	7	1	1	1	61
ПИП-2	4	1	7	1	1	1	57
Полина (2017)	3	1	7	1	1	1	60
ПИП-2	3	1	7	1	1	1	55
Амбар (2018)	3	3	1	3	1	1	43
ПИП-2	3	3	1	3	1	1	49

Как правило, работа в семеноводстве направлена на сохранение чистосортности сортов. В питомнике семьи после браковки остаются с более продуктивными линиями, что ведет к мономорфным линиям у изначально гетерогенных сортов. Это происходит из-за отбора в ПИП-1 в лабораторных условиях делянок с более высокой массой 1000 зерен и продуктивностью семьи.

Сорта, представленные в ПИП-2, являлись идентичными исходным, а полиморфные – более продуктивному биотипу исходных.

На основании проведенных исследований было установлено, что у современных сортов возможно изменение биотипного состава одного и того же сорта, репродуцируемого в течение нескольких лет. У сортов Изюминка, Лидия, Капризуля преобладание аллеля Gld1D1 сказывается на более высокой урожайности (связано это с отбором более продуктивных семей сорта в ПИП-1) и морозостойкости. Сорт Ермак, преобразовал аллель Gld1D7+1 в чистолинейный Gld1D7, который сохраняет качество, морозостойкость и устойчивость к болезням. Гетерогенность у сорта Аскет сохранилась

на этапе семеноводства, но изменения произошли по одному из аллелей Gld1A4+5, он стал чистым Gld1A4.

В процессе семеноводства можно улучшить гетерогенные сорта либо устойчиво сохранять состав их биотипов путем ежегодной проверки семей в ПИП-1 методом электрофореза и контролировать процентное соотношение линий.

Выводы. Метод электрофореза является одним из перспективных в семенном контроле для идентификации видовых и сортовых примесей, которые при визуальной оценке невозможно отличить по морфологическим признакам. Плюсом метода является его доступность, высокая экономическая целесообразность по сравнению с другими биохимическими методами. Спектры электрофореза запасных белков практически не зависят ни от условий выращивания, ни от условий и длительности хранения семян.

Первичное семеноводство сортов озимой мягкой пшеницы должно вестись с учетом состава аллельных блоков глиаина с возможной изменчивостью некоторых хозяйственно ценных признаков.

Библиографические ссылки

1. Березкин А.Н., Малько А.М., Чередниченко М.Ю. Пути развития семеноводства и оценки качества семян в мире: современное состояние и перспективы // Доклад ТСХА. 2012. № 284, ч. 1. С. 126–129.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. Стереотип. изд. М.: Альянс, 2014. 351с.
3. Копусь М.М., Нецветаев В.П., Копусь Е.М., Маркарова А.Р., Нецветаева О.Р. Экспресс-методы оценки селекционного материала пшеницы по качеству зерна // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 19–21.
4. Nekrasova O.A., Kravchenko N.S., Marchenko D.M., Nekrasov E.I. Estimation of grain productivity and biochemical indicators of the winter bread wheat varieties depending on the forecrop // E3S Web of Conferences. 2021. V. 273. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127301027>.

References

1. Berezkin A.N, Mal'ko A.M., Cherednichenko M.Yu. Puti razvitiya semenovodstva i otsenki kachestva semyan v mire: sovremennoe sostoyanie i perspektivy [The ways of developing seed production and estimating the quality of seeds in the world: current state and prospects] // Doklad TSKhA. 2012. № 284, ch.1. S. 126–129.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. Stereotip. izd. M.: Al'yans, 2014. 351s.

3. Kopus' M.M., Netsvetaev V.P., Kopus' E.M., Markarova A.R., Netsvetaeva O.R. Ekspres-metody otsenki selektsionnogo materiala pshenitsy po kachestvu zerna [Express methods for estimating wheat breeding material according to grain quality] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2010. № 1. S. 19–21.

4. Nekrasova O.A., Kravchenko N.S., Marchenko D.M., Nekrasov E.I. Estimation of grain productivity and biochemical indicators of the winter bread wheat varieties depending on the forecrop // E3S Web of Conferences. 2021. V. 273. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127301027>.

Поступила: 14.02.22; доработана после рецензирования: 18.03.22; принята к публикации: 22.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Фирсова Т.И. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Копусь М.М. – биохимический анализ; Скворцова Ю.Г., Филенко Г.А. – проведение полевого опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.11:632.4

DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-64-69

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РАЗВИТИЕ ЭПИФИТНОЙ МИКРОФЛОРЫ И ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

О.Ф. Хамова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник сектора микробиологии, ORCID ID: 0000-0003-0757-7008;

П.В. Поползухин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства, ORCID ID: 0000-0001-6173-4030;

О.С. Дмитренко, научный сотрудник лаборатории семеноводства ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», 644012, г. Омск, пр-т Академика Королёва, д. 26; e-mail: 55asc@bk.ru

Исследования страховых семенных фондов яровой мягкой пшеницы проводили в отделе семеноводства СибНИИСХ (ФГБНУ «Омский АНЦ»). Цель работы – охарактеризовать развитие эпифитной микрофлоры на семенах яровой мягкой пшеницы и изменение их всхожести при длительном хранении с различной влажностью. Выяснено, что всхожесть семян на 88% зависела от влажности при закладке на хранение и численности грибов на их поверхности. При увеличении исходной влажности семян до 17% численность микроорганизмов на них существенно увеличивалась, а всхожесть снижалась через три года хранения в полиэтиленовой таре до 0–1,9% через 28 месяцев (2,3 года). Установлена множественная корреляционная взаимозависимость между всхожестью зерна (x), влажностью (y) и количеством грибов на его поверхности (z), значимая на 5%-м уровне $r_{xyz} = 0,94$. Семена с повышенной влажностью, а также щуплые, невыполненные лучше хранились в аэробных условиях – льняных мешках в складе с деревянным покрытием пола. В полиэтиленовой таре спелое сухое зерно (с влажностью от 6 до 14%) сохранялось в течение длительного времени независимо от типа покрытия в складе, деревянного или цементного. При уборке семян во влажную прохладную погоду и подсушивании их до стандартной влажности 14% семена лучше затаривать в полиэтиленовые мешки, тип покрытия пола в складе не имеет значения. При более высокой влажности – 17% – семена для сохранения всхожести лучше хранить в льняных мешках в складе с деревянным покрытием пола.

Ключевые слова: яровая пшеница, влажность зерна, всхожесть зерна, эпифитная микрофлора.

Для цитирования: Хамова О.Ф., Поползухин П.В., Дмитренко О.С. Влияние влажности на развитие эпифитной микрофлоры и всхожесть семян яровой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 64–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-64-69.

**HUMIDITY EFFECT ON EPIPHYTIC MICROFLORA DEVELOPMENT AND SEED GERMINATION OF SPRING BREAD WHEAT**

O.F. Khamova, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the microbiology sector, ORCID ID: 0000-0003-0757-7008;

P.V. Popolzukhin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for primary seed production, ORCID ID: 0000-0001-6173-4030;

O.S. Dmitrenko, researcher of the laboratory for primary seed production Omsk Agricultural Research Center, 644012, Omsk, Akademik Korolev Av., 26; e-mail: 55asc@bk.ru

The study of accumulated seed funds of spring bread wheat was carried out at the seed production department of the SibRIA (FSBSI "Omsk ARC"). The purpose of the current work was to characterize the development of epiphytic microflora on seeds of spring bread wheat and the change in their germination capacity during a long-term storage with different humidity. There was found out that the seed germination on 88% depended on the moisture content during storage and a number of fungi on their surface. On increasing the initial moisture content of seeds to 17%, the number of microorganisms on them increased significantly, and germination decreased after three years of storage in plastic containers to 0–1.9% in 28 months (2.3 years). There has been established multiple correlation between grain germination (x), moisture content (y) and a number of fungi on its surface (z), significant at the 5% level $r_{xyz} = 0.94$. Seeds with high humidity, as well as feeble, shrivelled seeds were better stored under aerobic conditions, linen bags in a warehouse with a wooden floor. In polyethylene bags, ripe dry grain (with a moisture content of 6–14%) was stored for a long time, regardless of the floor type in the warehouse, wood or cement. When harvesting seeds in damp cool weather and drying them to a standard moisture content of 14%, it is better to pack the seeds in plastic bags, the type of floor in the warehouse does not matter. At a higher humidity of 17%, it is better to store the seeds in linen bags in a warehouse with a wooden floor to maintain germination.

Keywords: spring wheat, grain moisture, grain germination, epiphytic microflora.

Введение. Одним из необходимых условий формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур является использование для посева высококачественных

здоровых семян. Из литературы известно, что на развитие микроорганизмов (бактериальной и грибной микрофлоры) на поверхности семенного материала влияет тара хра-

нения, ее аэрация или герметичность (Neme, 2021).

Качество семенного материала предопределяет в значительной мере полевую всхожесть семян, первоначальный рост, выживаемость растений и в конечном итоге густоту стояния растений. Кроме этого, от качества высеваемых семян во многом зависит эффективность остальных технологических операций возделывания сельскохозяйственной культуры (Belwal et al., 2015).

Исследованиями, проведенными Азиевым К.Г. (1989) и др. в опыте с длительным хранением зерна, было установлено, что в страховых фонды необходимо засыпать физиологически зрелые высококачественные семена, выращенные в благоприятные по гидротермическим показателям годы, с исходной влажностью не более 12%.

На спелом сухом зерне микробы находятся в покоящемся состоянии (анабиозе), численность их по мере хранения постоянно уменьшается. Одной из главных причин снижения посевных качеств семян и потери их массы при длительном хранении является развитие на их поверхности микроорганизмов, бактерий и грибов. Особенно опасны грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*. Увлажнение зерна, способствуя размножению микроорганизмов, усиливает процесс его порчи. Сохранность семенного материала зерновых культур определяется его исходным качеством после уборки, а также условиями хранения (Мишустин и Трисвятский, 1963). Поэтому так важно уберечь семена от неблагоприятных воздействий, появления плесеней, потери всхожести, энергии прорастания, т.е. ухудшения их посевных качеств. Целью исследований было оценить развитие эпифитной микрофлоры на семенах яровой мягкой пшеницы и изменение их всхожести при длительном хранении в зависимости от влажности.

Материалы и методы исследований.

Исследования страховых семенных фондов яровой мягкой пшеницы проводили в отделе семеноводства СибНИИСХоза (ФГБНУ «Омский АНЦ»). В различные годы на длительное хранение были заложены партии семян яровой мягкой пшеницы сорта Омская-9 с влажностью семян от 6 до 17%, которая устанавливалась путем активного вентилирования. Семена на хранение закладывались в льняных и полиэтиленовых мешках в складах с деревянным и цементным покрытием пола.

Влажность семян, всхожесть, поражение грибными болезнями определяли по стандартам «Семена сельскохозяйственных культур»: ГОСТ 12041-82 «Методы определения влажности»; ГОСТ 12038-84 «Методы определения всхожести»; ГОСТ 12044-93 «Методы определения зараженности болезнями». Микробиологический анализ поверхности зерна проводили общепринятым стандартным методом – путем смывов на твердые питательные среды: Чапека – для грибов, мясо – пептонный агар (МПА) – для бактерий.

Посевные качества семян зависят от погодных условий выращивания и уборки. При своевременной уборке урожая в сухую погоду при первой закладке опыта первоначальная всхожесть семян составляла 98%. Во вторую закладку опыта уборка в условиях затяжных дождей способствовала активному развитию микроорганизмов на зерновках и колосьях. Всхожесть полученных семян при этой погоде была ниже, чем при первой закладке опыта, и составляла 91–92%. В экстремально засушливых условиях вегетационного периода семена сформировались щуплые, с пониженной всхожестью – 81–86% (третья закладка опыта).

При первой закладке опыта за май–август количество осадков составило 78% от нормы, средняя температура была на 2,5 °С выше нормы. Благоприятные погодные условия сложились в период уборки урожая. Во время уборки пшеницы при второй закладке опыта количество осадков в 2,5 раза превышало норму, а температура воздуха была на 4 °С ниже среднемноголетней, ГТК за май–август – 0,82. Третью закладку опыта проводили с семенами, полученными в условиях экстремальной засухи. За июнь–июль выпало 11 мм осадков при средней температуре воздуха 20,4 °С, ГТК за май–август составил 0,66.

Результаты и их обсуждение. Семена яровой пшеницы, убранные в сухую погоду, с высокими посевными качествами, всхожестью 98%, с влажностью хранения от 6 до 12% через три года имели всхожесть 87,6–89,7% в полиэтиленовой таре и на этом же уровне (88,3–89,4%) в льняных мешках. Потеря всхожести по сравнению с исходной – 98% – за три года хранения составила в среднем 8–10%.

При увеличении влажности семян до 17% в льняной таре всхожесть их снижалась до 80,8%, в полиэтиленовой – до 1,9%.

Причиной снижения посевных качеств семян являлось развитие эпифитной микрофлоры на их поверхности. На доброкачественном зерне с высокой всхожестью количество грибов не должно превышать предел 0,5–3,0 тыс. КОЕ/г (Мишустин и Трисвятский, 1963).

При хранении семян в течение трех лет с влажностью 12% численность грибов на их поверхности возросла по отношению к количеству при 6%-й влажности в 1,6–4,6 раза в зависимости от вида тары, льняной или полиэтиленовой соответственно, но не превышала допустимых пределов. С увеличением влажности семян до 17% количество грибов в льняной таре увеличилось в 3 раза, в полиэтиленовой – в 50 с лишним раз, что в 1,7 раза выше допустимых значений (0,5–3 тыс. КОЕ/г) (табл. 1).

Численность бактерий-сапрофитов на семенах через три года хранения в льняных мешках при влажности 17% уменьшилась на 55% – с 18 до 10 тыс. КОЕ/г по отношению к сухим семенам с влажностью 6%, в то время как в полиэтиленовой таре возросла в 27 раз, достигнув 617 тыс. КОЕ/г.

Таблица 1. Численность микроорганизмов на поверхности семян (КОЕ/г) и их всхожесть (%) после трех лет хранения в зависимости от исходной влажности (первая закладка опыта)
Table 1. The number of microorganisms on the surface of seeds (CFU/g) and their germination (%) after three years of storage, depending on the initial moisture (the first trial establishment)

Вид тары (фактор А)	Грибы, КОЕ/г				Бактерии, растущие на МПА, тыс. КОЕ/г				Всхожесть, %*			
	Влажность семян, % (фактор В)											
	6	12	17	Среднее А	6	12	17	Среднее А	6	12	17	Среднее А
Льняная	133	218	414	255	18	19	10	16	89,4	88,3	80,8	86,1
Полиэтиленовая	102	477	5224	1934	23	22	617	221	89,7	87,6	1,9	59,7
В среднем по фактору В	118	348	2819	1095	21	21	314	119	89,6	88,0	41,4	73,0

*Всхожесть после уборки составляла 98%; КОЕ – колониеобразующие единицы. Количество грибов не должно превышать 0,5–3 тыс. КОЕ/г (Мишустин и др., 1963).

Полученные данные свидетельствуют о том, что на поверхности семян с повышенной влажностью (17%), помещенных в анаэробные условия (полиэтиленовая тара), усиленно развивается грибная (плесневая) и бактериальная микрофлора, что приводит к потере их посевных качеств. Семена с высокой влажностью в льняных мешках менее подвержены порче микроорганизмами, сохраняя всхожесть на уровне 80% более длительное время.

При хранении в льняных мешках исходная влажность семян выравнивалась за счет равновесной влажности воздуха до 12±0,6%. Полиэтиленовые мешки более герметичны в сравнении с льняными, сохраняя влажность семян, близкую к исходной, продолжительный период времени. Увлажненные семена в анаэробных условиях являются субстратом для развития плесневых грибов, в основном *Penicillium*, выделяющих микотоксины и вызывающих порчу зерна.

При уборке семян в прохладную дождливую погоду (вторая закладка опыта) количество микроскопических грибов на их поверхности при стандартной влажности зерна 14% (ГОСТ

12041-82) через месяц хранения в складе с цементным покрытием пола было на 44% выше, чем с деревянным полом, составляя в среднем 658 и 367 КОЕ/г соответственно. Количество грибов на поверхности семян 14%-й влажности в полиэтиленовой таре было на 43% больше, чем в льняной (среднее по обоим складам – 603 и 422 КОЕ/г соответственно), однако находилось в допустимых пределах 0,5–3 тыс. КОЕ/г. Через 2,3 г. хранения (28 месяцев) в льняных мешках количество грибной микрофлоры на поверхности семян при стандартной влажности 14% в складе с деревянным покрытием пола увеличилось в 2,6 раза, с цементным – в 4,7 раза. Однако колебания численности грибов независимо от тары, в которой хранились семена, были в пределах 0,5–3 тыс. КОЕ/г, т.е. не выходили за границы допустимых. При этом в полиэтиленовых мешках количество грибов в течение 2,3 г. хранения при 14%-й влажности снизилось в 1,7–2,1 раза, в то время как в льняных увеличилось в 2,5–4,7 раза. Значительное превышение допустимой численности грибов на поверхности семян было при их исходной влажности закладки на хранение 17% (табл. 2).

Таблица 2. Численность микроорганизмов (КОЕ/г) на поверхности семян и всхожесть (%) в зависимости от влажности хранения при второй закладке опыта
Table 2. The number of microorganisms on the surface of seeds (CFU / g) and their germination (%) depending on storage humidity

Показатель	Деревянный пол						Цементный пол					
	Лен			Полиэтилен			Лен			Полиэтилен		
	Влага зерна, %											
	6	14	17	6	14	17	6	14	17	6	14	17
Через месяц после уборки												
Грибы, КОЕ/г	165	173	227	63	561	189	242	671	238	58	645	117
Бактерии, растущие на МПА, тыс. КОЕ/г	82	168	1775	195	179	14 656	450	615	2086	543	449	9473
В т.ч. <i>Ps. herbicola</i> , тыс. КОЕ/г	22	56	17	95	90	< 1	121	179	17	179	118	< 1
Всхожесть, %	90	86	91	91	87	74	91	92	85	92	91	81
Через 28 месяцев хранения (2,3 г.)												
Грибы, КОЕ/г	429	444	4257	479	325	8903	1964	3151	5760	242	30	16 172
Бактерии, растущие на МПА, тыс. КОЕ/г	74	26	2129	189	138	641	76	77	1196	259	70	7914
В т.ч. <i>Ps. herbicola</i> , тыс. КОЕ/г	11	36	< 1	50	48	< 1	22	22	22	60	19	< 1
Всхожесть, %	65	67	72	73	87	0	62	83	68	77	78	0

*Всхожесть семян после уборки – 91–92%.

Эпифитная микрофлора зерна представлена в основном бактериями, количество которых может быть очень велико. При обследовании семян пшеницы из разных стран мира

насчитывали от 46 до 3260 тыс. бактериальных клеток на 1 г (Селихова, 2019). Причем численность микроорганизмов в значительной мере связана с погодными условиями в период убор-

ки, возрастая во влажную погоду и уменьшаясь в сухую (Поворова и Авраменко, 2017; Власов и др., 2011). Количество бактерий-сапрофитов на семенах, убранных в сухую погоду, составляло, в зависимости от влажности и условий хранения, от 10 до 617 тыс. КОЕ/г (см. табл. 1). При уборке в дождливую погоду количество бактерий значительно увеличивалось – до 82–14 656 тыс КОЕ/г (табл. 2).

Через 2,3 г. хранения численность бактериальной флоры на поверхности семян снижалась до 70–7914 тыс/ КОЕ/г. Наибольшее количество бактерий на семенах было при высокой исходной влажности – 17% – в полиэтиленовой таре. При хранении в деревянном складе численность бактерий уменьшилась почти в 23 раза, в цементном – в 1,2 раза по сравнению с исходной.

Преобладание среди бактерий неспорозной палочки *Ps. herbicola* является индикатором сохранности зерна (Поворова и Авраменко, 2017). При влажности семян 17% в льняной таре *Ps. herbicola* составляла менее 1% общей численности сапрофитных бактерий. В полиэтиленовой таре в этих условиях хранения она вообще не была обнаружена.

Всхожесть семян после 2,3 г. хранения снизилась независимо от вида покрытия пола склада при влажности 6–14% в льняных мешках до 62–67%, максимум – 83%, при 17%-й влажности – до 68–72%, в полиэтиленовых соответственно 73–87%, при 17%-й влаге снижаясь до нуля процентов (табл. 2). В первой закладке опыта после трех лет хранения семян с 17%-й влажностью в полиэтиленовой таре всхожесть составляла от 0 до 1,9%. Следует отметить, что изначальная всхожесть

семян в первую закладку опыта была высокой – 98%.

Таким образом, при уборке семян во влажную прохладную погоду и подсушивании их до стандартной влажности 14% семена лучше затаривать в полиэтиленовые мешки, можно хранить в складе независимо от покрытия пола. При более высокой влажности – 17% семена лучше хранить в льняных мешках при деревянном покрытии пола склада. В целом тип покрытия пола в складе не имеет существенного значения, поскольку, несмотря на более высокое количество микрофлоры на поверхности семян в складе с цементным полом, оно не превышало допустимых пределов.

В условиях экстремально засушливого лета зерно сформировалось щуплое и невыполненное. Численность грибов на поверхности была достаточно высокой (758–1017 КОЕ/г), хотя и не выходила за допустимые пределы (0,5–3 тыс КОЕ/г). Количество бактерий сапрофитов на поверхности семян составляло 1376–7569 тыс КОЕ/г, в сравнении с предыдущими закладками опыта довольно значительная величина. В связи с высокой обсемененностью зерна пшеницы микроорганизмами всхожесть его была ниже, чем в предыдущие две закладки опыта. Она составляла в льняных мешках 85–88%, полиэтиленовых – 81–83% (табл. 3). Следует отметить, что по ГОСТ Р 52325-2005 (стандарт ГОСТ 12038-84) всхожесть семян для посева яровой мягкой пшеницы в зоне исследований должна быть не менее 77–82%. То есть, несмотря на различные по увлажнению погодные условия уборки, полученные семена были вполне пригодны к посеву на следующий год.

Таблица 3. Численность микроорганизмов (КОЕ/г) на поверхности семян, полученных в условиях экстремальной засухи в зависимости от условий хранения и исходной влажности, третья закладка опыта
Table 3. The number of microorganisms on the surface of seeds (CFU/g) obtained under extreme drought conditions, depending on storage conditions and initial humidity (the third trial establishment)

Показатель	Деревянный / Цементный					
	Лен			Полиэтилен		
	6	14	17	6	14	17
После уборки						
Грибы, КОЕ/г	1017	767	758	932	897	906
Бактерии, растущие на МПА, тыс КОЕ/г	6593	2148	6590	1376	5926	7569
Всхожесть, %	85	88	86	81	83	82
Через 16 месяцев хранения (1,3 г.)						
Грибы, КОЕ/г	185/304*	622/333	498/600	819/753	357/108	361/682
Бактерии, растущие на МПА, тыс КОЕ/г	1489/755	2434/2571	1433/3127	2379/3591	1440/1746	1856/393
Всхожесть, %	80/85	84/87	80/80	82/84	84/79	62/37

*Числитель – деревянное покрытие пола склада, знаменатель – цементное.

Через 1,3 г. хранения семян, полученных в условиях экстремальной засухи, численность грибов на их поверхности при влажности 6% снизилась как в складах с деревянным покрытием, так и с цементным, в льняных мешках в 5,5 и 3,4 раза, полиэтиленовых – в 1,1–1,2 раза соответственно. При влажности хранения 14%

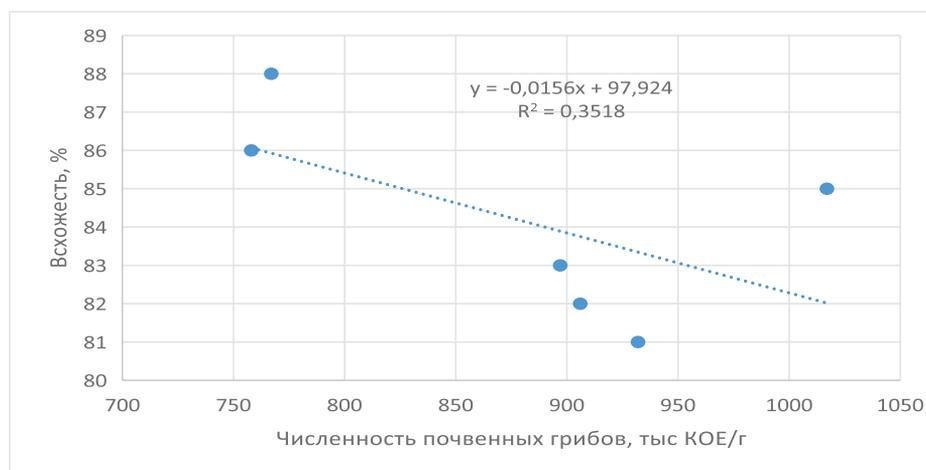
количество грибов на семенах уменьшилось на 19 и 56,5% в льняной таре и на 60 и 88% в полиэтиленовой в складах с деревянным покрытием пола и цементным соответственно. Такая же тенденция снижения количества грибов на поверхности семян прослеживалась и при влажности 17%. Количество бакте-

рий на семенах в сравнении с послеуборочным также значительно уменьшилась при хранении – в льняных мешках при влажности 6 и 17% в 4,4 и 4,6 раза, в полиэтиленовых при влажности 17% и более в 4,1 раза (табл. 3).

Послеуборочная всхожесть семян составляла в льняной таре 85–88%, полиэтиленовой – 81–83%. Через 1,3 г. хранения всхожесть семян в льняной таре была на уровне 80–85% независимо от типа покрытия склада. В полиэтиленовых мешках при влажности семян 6 и 14% в складе с деревянным покрытием пола всхо-

жесть составляла 82–84%, при увеличении влажности семян до 14 и 17% в складе с цементным покрытием пола всхожесть снижалась до 79 и 37% соответственно.

Коэффициент корреляции между численностью грибов на поверхности семян и их всхожестью высокий ($r = -0,96$), что свидетельствует о тесной обратной взаимозависимости между этими показателями. Следовательно, микрофлора семян является точным индикатором их качества, которое определяется условиями хранения (см. рисунок).



Зависимость всхожести яровой мягкой пшеницы (Y, %) от количества грибов на поверхности семян (X, тыс. КОЕ/г) (по данным третьей закладки опыта)
Dependence of spring bread wheat germination (Y, %) on a number of fungi on seeds' surface (X, thousand of CFU/g) (according to the third trial)

Определяющее влияние на численность грибов и бактерий на поверхности семян, а следовательно, и на их всхожесть, оказала исходная влажность зерновой массы. Корреляционная зависимость между влажностью семян и численностью микроорганизмов на их поверхности очень тесная ($r = 0,85$). Коэффициент корреляции между показателями влажности и всхожести семян был равен $r = -0,79 \pm 0,6$, что свидетельствует о высокой степени зависимости.

Множественная взаимозависимость между всхожестью (x), влажностью семян (y) и количеством грибов на их поверхности (z) была значимой на 5%-м уровне $r_{xyz} = 0,94$. Судя по коэффициенту детерминации $r^2_{xyz} = 0,88$, посевные качества семян на 88% зависели от влажности и численности грибов на их поверхности. Полученные результаты подтверждают выводы К.Г. Азиева и др. (1989), что семена при влажности 6–14% при хранении в герметичной полиэтиленовой таре сохраняют высокую всхожесть до трех лет. Партии семян с влажностью более 16% менее стойкие при длительном хранении. Семена в аэробных условиях (льняной таре) в меньшей степени теряют всхожесть, чем в полиэтиленовой.

Выводы

1. Численность микроорганизмов на поверхности семян в зависимости от условий хранения может характеризовать их посевные качества. Установлена множественная корреляционная взаимозависимость между всхожестью зерна (x), влажностью (y) и количеством грибов на его поверхности (z), значимая на 5%-м уровне $r_{xyz} = 0,94$. Исходя из этого, посевные качества семян на 88% зависели от влажности при закладке на хранение и численности грибов на их поверхности.

2. При увеличении исходной влажности семян до 17% численность микроорганизмов на них существенно (в 2,6–4,7 раза) увеличивалась, а всхожесть снижалась через 2,3–3 года хранения в полиэтиленовой таре до 0–1,9%.

3. Семена с повышенной влажностью (17%), а также щуплые, невыполненные лучше хранились в аэробных условиях, льняных мешках в складе с деревянным покрытием пола. В полиэтиленовой таре спелое сухое зерно (влажность от 6 до 14%) в большей степени в сравнении с льняной сохраняло всхожесть в течение длительного времени независимо от типа покрытия склада – деревянного или цементного (на уровне 73–84%).

Библиографические ссылки

1. Азиев К.Г., Дмитренко О.С. Пашнин В.Ф. Как хранить семена // Земля сибирская дальневосточная. 1989. № 12. С. 20–21.

2. Власов В.В., Шульман Н.Н., Куниченко Н.А., Соколова Л.Н., Антюхова О.В., Виноградский Н.Н. Влияние микрофлоры семян пшеницы на их качество // Вестник Приднестровского университета. Серия: Медико-биологические и химические науки. 2011. № 2(38). С. 179–186.

3. Мишустин Е.Н., Трисвятский Л.А. Микробы и зерно. М.: Издательство академии наук СССР, 1963. 91 с.

4. Поворова О.В., Авраменко Я.Н. Эпифитная микрофлора как индикатор всхожести и прорастания зерна // Проблемы устойчивого развития регионов республики Беларусь и сопредельных стран. Мат-лы VI Междунар. науч.-практ. интернет-конф. Могилев, 2017. С. 104–107.

5. Селихова А.А. Эпифитная микрофлора растений как специфический фактор растительного иммунитета // Молодой ученый. 2019. № 51. С. 280–282.

6. Belwal T., Bisht A., Bhat I.D.T., Rawal R.S. Influence of seed priming and storage time on germination and enzymatic activity of selected Berberis species // Plant Growth Regulation. 2015. Vol. 77. No 2. P. 189–199. DOI 10.1007/s10725-015-0051-0.

7. Neme K. Effects of variety, storage container, and duration on the physical properties, oil content, germination capacity, and seed loss due to *Plodia interpunctella* infestation of Ethiopian sesame // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021. Vol. 101. No. 3. P. 843–852.

References

1. Aziev K.G., Dmitrenko O.S. Pashnin V.F. Kak khranit' semena [How to store seeds] // Zemlya sibirskaya dal'nevostochnaya. 1989. № 12. S. 20–21.

2. Vlasov V.V., Shul'man N.N., Kunichenko N.A., Sokolova L.N., Antyukhova O.V., Vinogradskii N.N. Vliyanie mikroflory semyan pshenitsy na ikh kachestvo [The effect of the wheat seed microflora on their quality] // Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie i khimicheskie nauki. 2011. № 2(38). S. 179–186.

3. Mishustin E.N., Trisvyatskii L.A. Mikroby i zerno [Germs and grain]. M.: Izdatel'stvo akademii nauk SSSR, 1963. 91 s.

4. Povorova O.V., Avramenko Ya.N. Epifitnaya mikroflora kak indikator vskhozhesti i prorastaniya zerna [Epiphytic microflora as an indicator of grain germination] // Problemy ustoichivogo razvitiya regionov respubliki Belarus' i sopredel'nykh stran. Mat-ly VI Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf. Mogilev, 2017. S. 104–107.

5. Selikhova A.A. Epifitnaya mikroflora rastenii kak spetsificheskii faktor rastitel'nogo immuniteta [Epiphytic microflora of plants as a specific factor of plant immunity] // Molodoi uchenyi. 2019. № 51. S. 280–282.

6. Belwal T., Bisht A., Bhat I.D.T., Rawal R.S. Influence of seed priming and storage time on germination and enzymatic activity of selected Berberis species // Plant Growth Regulation. 2015. Vol. 77. No 2. P. 189–199. DOI 10.1007/s10725-015-0051-0.

7. Neme K. Effects of variety, storage container, and duration on the physical properties, oil content, germination capacity, and seed loss due to *Plodia interpunctella* infestation of Ethiopian sesame // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021. Vol. 101. No. 3. P. 843–852.

Поступила: 5.07.21; доработана после рецензирования: 11.01.22; принята к публикации: 24.01.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Хамова О.Ф. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация; Поползухин П.В., Дмитренко О.С. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных; Хамова О.Ф., Поползухин П.В. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В ПРИАЗОВСКОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ СОРТОВ ЗЕРНОВОГО ГОРОХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

А.А. Лысенко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства гороха, lysenko271981@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7267-8684
ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1

В статье приводятся результаты трехлетних наблюдений за воздействием режима основных агрометеорологических показателей (количество выпавших осадков во время вегетации, температуры и гидротермический коэффициент) на величину и качество урожая сортов зернового гороха отечественной и зарубежной селекции. Наиболее эффективно возделывать высокоурожайные технологичные сорта гороха с хорошим качеством зерна, хорошо приспособленные к различным условиям произрастания (засухе, переувлажнению). В среднем за три года проведения исследования прибавка урожайности сортов Сотник, Амулет, Премьер, Альянс, Кадет, Атаман, КВС Ла Манш и Глянс к стандарту Аксайский усатый 5 составила 0,57 т/га. Выделены сорта с высоким (27,3–28,0%) содержанием белка в семенах – Кадет, Премьер, Амулет, Вельвет и КВС Ла Манш. В результате проведенных исследований можно сказать, что на содержание белка в зерне изучаемых сортов гороха непосредственное влияние оказывают как гидротермический коэффициент за время вегетационного периода, так и урожайность. Цель наших исследований – изучить и проанализировать урожайность и качество семян у сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических условий в Приазовской агроклиматической зоне Ростовской области. Данные результаты, полученные в исследованиях, могут быть использованы в селекционной работе. Важно, что эти сорта адаптивны к почвенно-климатическим условиям Ростовской области, являются исходным материалом для выведения новых высокопродуктивных сортов гороха с комплексом хозяйственно-ценных признаков, а также для выращивания в производственных условиях.

Ключевые слова: селекция гороха, горох, урожайность, гидротермический коэффициент, белок, сорт.

Для цитирования: Лысенко А.А. Урожайность и качество возделываемых в Приазовской зоне Ростовской области сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических факторов // Зерновое хозяйство России. Т. 14. № 2. С. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76.



PRODUCTIVITY AND QUALITY OF GRAIN PEA VARIETIES CULTIVATED IN THE AZOV AREA OF THE ROSTOV REGION DEPENDING ON HYDROTHERMAL FACTORS

A.A. Lysenko, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for peas breeding and seed production, lysenko271981@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7267-8684
Federal Rostov Agricultural Research Center,
346735, Russia, Rostov region, Aksay district, v. of Rassvet, Institutskaya Str., 1

The current paper has presented the three-year study results of the impact of the regime of the main agrometeorological indicators (the amount of precipitation during the vegetation period, temperature and hydrothermal coefficient) on the size and quality of the yield of grain pea varieties of domestic and foreign breeding. It is most effective to cultivate high-yielding technological pea varieties with good grain quality, well adapted to various growing conditions (drought, waterlogging). On average, over the three years of study, productivity increase of the varieties 'Sotnik', 'Amulet', 'Premier', 'Aliyans', 'Kadet', 'Ataman', 'KVS La Mansh' and 'Glyans' was on 0.57 t/ha more than that of the standard variety 'Aksai Usatyi 5'. There have been identified the varieties 'Kadet', 'Premier', 'Amulet', 'Velvet' and 'KVS La Mansh' with a high protein percentage in grain (27.3–28.0%). According to the obtained results, we can say that protein percentage in grain of the studied pea varieties is directly affected by both the hydrothermal coefficient during the vegetation period and the productivity. The purpose of the current study was to investigate and analyze productivity and seed quality of the pea varieties, depending on the hydrothermal conditions in the Azov agro-climatic area of the Rostov region. These results obtained can be used in further breeding work. It is important that these varieties are adaptive to the soil and climatic conditions of the Rostov region, they are the initial material for breeding new highly productive pea varieties with a complex of economically valuable traits, as well as for growing under production conditions.

Keywords: pea breeding, peas, productivity, hydrothermal coefficient, protein, variety.

Введение. Горох является наиболее распространенной зернобобовой культурой в России. В мировом земледелии горох занимал 9,8 млн га, уступая нуту, фасоли и сое. Наряду с зерновыми культурами, он является важным источником растительного белка. Однако доля

гороха в балансе кормового белка в зоне невелика из-за сравнительно небольших посевных площадей, что, в свою очередь, связано с невысокой и неустойчивой его урожайностью по сравнению с зерновыми культурами. Одной из причин является его биологическая

особенность, в силу которой он остро реагирует на колебания гидротермических факторов. Создание новых высокопродуктивных, адаптированных к местным условиям сортов гороха позволит решить проблему пищевого и кормового белка (Зотиков и др., 2018; Давлетов и др., 2016).

В России горох имеет многообразное применение: кормовое и продовольственное, широко используется для производства высокобелкового зерна, зернофуража, сенажа, зеленого корма, силоса, травяной муки. В зернах гороха содержится от 18 до 32% белка, он отличается хорошей растворимостью и усвояемостью и значительной биологической ценностью. В них также содержатся все незаменимые аминокислоты, нужные для нормальной жизнедеятельности животного организма (Кондыков и др., 2010).

В увеличении урожайности и валового сбора гороха, как и других культур, большое значение принадлежит селекции и семеноводству новых сортов. Наиболее современные сорта гороха обладают довольно высоким потенциалом продуктивности, реализация которого сдерживается из-за их чувствительности к различным условиям произрастания (засухе, переувлажнению). Несмотря на это, оценка испытываемых сортов гороха, обеспечивающих наибольшую урожайность, ценные по качеству семена и адаптивность, является актуальной задачей для Приазовской зоны Ростовской области и имеет определенный научный и практический интерес (Омельянюк, 2013; Давлетов и др., 2016).

Целью нашей работы являлись изучение и анализ урожайности и качества семян у сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических условий, приспособленных к конкретным метеорологическим условиям в Приазовской зоне Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Закладка опытов проводилась в ФГБНУ ФРАНЦ

в 2017–2019 гг. на полях лаборатории селекции и семеноводства гороха, расположенном в Приазовской зоне Ростовской области. Объектом изучения в опытах использовали 21 сорт, относящийся к различным морфотипам гороха, куда входили сорта ФГБНУ ФРАНЦ и также присланные из других научно-исследовательских селекционных учреждений страны. В экологическом сортоиспытании высевались 85 сортов гороха, но для изучения были отобраны сорта, которые показали наибольшую урожайность в течение трех лет исследований.

Посев проводили селекционной сеялкой СУ-10 в оптимальные сроки в первой декаде апреля при посеве нормой 1,2 млн шт./га. Семена высевали на глубину 6 см. Изучаемые сорта размещали по предшественнику озимая пшеница. Высевали сорта в трехкратной повторности на делянках 15 м².

Полевые опыты, фенологические наблюдения, оценки, учеты и измерения проводили в селекционном севообороте согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1971). Уборка – конец восковой спелости зерна прямым комбайнированием «Сампо 130». Содержание белка в зерне определяли по методу Кьельдаля. Статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову (1985). Анализ погодных условий проводили по данным метеостанции п. Рассвет с использованием гидротермического коэффициента по Селянинову (1966).

Результаты и их обсуждение. В условиях климата Ростовской области существенное значение для формирования урожая гороха имеет сочетание гидротермических факторов в период вегетации. Для Ростовской области характерны частые засухи, резкие смены температур.

В целом погодные условия во время вегетации гороха были контрастными (рис. 1).

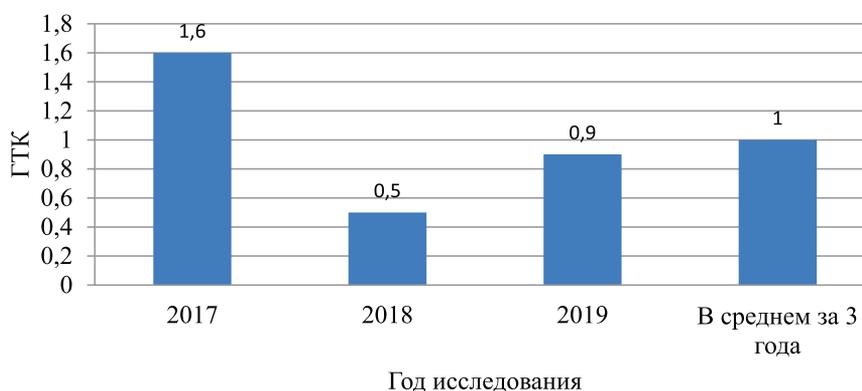


Рис. 1. Гидротермический коэффициент за вегетационный период гороха (2017–2019 гг.)

Fig. 1. Hydrothermal coefficient during a vegetation period of peas (2017–2019)

Метеорологические условия в 2017 и 2019 гг. были влажными, года отличались друг от друга и характеризовались неравно-

мерными обильными осадками: за вегетационный период выпало 249,4 и 165,4 мм, сумма активных температур – 1517,3 и 1822,3 °С,

что подтверждается величиной гидротермического коэффициента (ГТК), который составил 1,6 и 0,9 соответственно.

Менее благоприятным для роста и развития гороха оказался 2018 г., осадков выпало 93,8 мм, сумма активных температур состави-

ла 1863,5 °С при ГТК 0,5, складывались критические острозасушливые условия.

Таким образом, метеорологические условия в высокой степени оказали воздействие на величину урожая гороха и сильно варьировали по годам (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность районированных сортов гороха в экологическом сортоиспытании, т/га (2017–2019 гг.)
Table 1. Productivity of the zoned pea varieties in the Ecological Variety Testing, t/ha (2017–2019)

Сорт	Страна-оригинатор	2017 г.	2018 г.	2019 г.	В среднем		
					урожайность	прибавка к ст.	
Аксайский усатый 5, ст.	Россия (ФГБНУ ФРАНЦ)	2,96	1,62	2,24	2,27	–	
Аксайский усатый 55		2,51	1,66	2,52	2,23	-0,04	
Аксайский усатый 10		2,68	1,62	2,55	2,28	0,01	
Аксайский усатый 7		2,94	1,54	2,25	2,24	-0,03	
Сотник		4,10	1,54	2,69	2,78	0,51	
Амулет		4,02	1,72	2,94	2,89	0,62	
Премьер		3,80	1,54	3,09	2,81	0,54	
Альянс		4,0	1,76	2,77	2,84	0,57	
Кадет		4,06	1,83	2,69	2,86	0,59	
Атаман		4,08	1,60	2,65	2,78	0,51	
Рокет		Дания	3,82	1,23	2,51	2,52	0,25
Аудит		Франция	3,70	1,20	3,02	2,64	0,37
Плутон	3,70		0,88	2,38	2,32	0,05	
Универ	3,65		1,05	2,43	2,38	0,11	
Стабил	Австрия	3,77	1,42	2,57	2,59	0,32	
Готик		3,82	1,17	2,43	2,47	0,2	
Вельвет		3,76	1,32	2,58	2,55	0,28	
Мадонна	Германия	3,97	1,25	2,85	2,69	0,42	
КВС Ла Манш		3,97	1,49	3,20	2,89	0,62	
Глянс	Украина	4,08	1,74	2,82	2,88	0,61	
Эффектный		4,14	1,54	2,34	2,67	0,4	
Среднее за год		3,69	1,46	2,64	–	–	
НСР ₀₅		0,28	0,16	0,22	–	–	

По результатам изучения большого набора зерновых сортов гороха выявилось значительное их разнообразие по стабильности и урожайности, варьировавшей в пределах 2,23–2,89 т/га. Необходимо отметить, что наибольшую урожайность в опыте показали новые перспективные сорта собственной селекции, такие как Сотник, Амулет, Премьер, Альянс, Кадет, Атаман и иностранной селекции КВС Ла Манш и Глянс, значительно превосходящие стандарт Аксайский усатый 5 в среднем на 0,57 т/га.

Данные показывают, что в благоприятном 2017 г. урожайность всех сортов была выше, чем в предшествующие годы, и варьировала от 2,51 до 4,14 т/га. Среди выделившихся сортов высокой урожайностью отмечены сорта собственной селекции, такие как Сотник, Амулет, Альянс, Кадет, Атаман и иностранной селекции – Глянс и Эффектный, достигшие урожайности 4,0–4,14 т/га, что значительно превосходит стандарт на 1,04–1,18 т/га.

В 2018 г. вследствие воздействия биологических факторов среды урожайность всех сортов была существенно низкой и варьировала от 0,88 до 1,83 т/га. Максимальную урожайность в сложившихся погодных условиях сформиро-

вали сорта собственной селекции Амулет, Альянс, Кадет (1,72, 1,76 и 1,83 т/га). Из сортов иностранной селекции – сорт Украины Глянс 1,74 т/га.

В условиях 2019 г. максимальная урожайность наблюдалась у сортов Амулет, Премьер, Аудит и КВС Ла Манш у – 2,94–3,2 т/га.

Наряду с высокой урожайностью, значимым показателем ценности сорта является содержание белка в семенах гороха. В целом следует констатировать, что содержание белка в семенах зависит от метеорологических условий, сортовых особенностей и уровня урожая зерна (Понамарева, 2020; Зотиков и Боровлев, 2008). За годы исследования наблюдались значительные изменения содержания и сбора белка изучаемых сортов гороха (табл. 2).

Наибольшее содержание белка у гороха получено по сортам Амулет, Премьер, Кадет, Вельвет и КВС Ла Манш (27,7, 28,0, 27,5, 27,3 и 27,3%), что достоверно превышает районированный стандарт в среднем на 3,9%. Максимальный сбор белка с единицы площади был у сортов Амулет, Премьер, Кадет и КВС Ла Манш (0,79, 0,78, 0,78 и 0,78 т/га соответственно).

Таблица 2. Содержание и сбор белка с единицы площади (2017–2019 гг.)
Table 2. Protein percentage and yield per area unit (2017–2019)

Сорт	Страна-оригинатор	Белок, %				Сбор белка, т/га			
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	В среднем	2017 г.	2018 г.	2019 г.	В среднем
Аксайский усатый 5, ст.	Россия (ФГБНУ ФРАНЦ)	22,7	24,7	23,6	23,7	0,67	0,4	0,53	0,53
Аксайский усатый 55		22,3	23,0	23,7	23,0	0,56	0,38	0,59	0,51
Аксайский усатый 10		21,9	22,9	23,1	22,6	0,59	0,37	0,59	0,52
Аксайский усатый 7		22,2	23,5	23,2	22,9	0,65	0,36	0,52	0,51
Сотник		22,8	24,7	24,6	24,0	0,93	0,38	0,68	0,66
Амулет		26,8	28,3	28	27,7	1,08	0,49	0,82	0,79
Премьер		27	28,6	28,5	28,0	1,03	0,44	0,88	0,78
Альянс		23,1	24,3	23,5	23,6	0,92	0,43	0,65	0,67
Кадет		26,1	28,5	27,8	27,5	1,06	0,52	0,75	0,78
Атаман		21,8	25	24,2	23,7	0,89	0,4	0,64	0,64
Рокет		Дания	22,7	23,5	23,2	23,1	0,87	0,29	0,58
Аудит	Франция	22,6	23,9	23,7	23,4	0,84	0,29	0,72	0,62
Плутон		22,4	23,3	23,0	22,9	0,83	0,21	0,55	0,53
Универ		22,5	24,4	23,6	23,5	0,82	0,26	0,57	0,55
Стабил	Австрия	22,9	25,2	24,6	24,2	0,86	0,36	0,63	0,62
Готик		23,1	24,2	23,7	23,7	0,88	0,28	0,58	0,58
Вельвет		26,0	28,1	27,9	27,3	0,98	0,37	0,72	0,69
Мадонна	Германия	22,4	24,7	24,1	23,7	0,89	0,31	0,69	0,63
КВС Ла Манш		26,0	28,0	27,8	27,3	1,03	0,42	0,89	0,78
Глянс	Украина	22,3	24,9	24,6	23,9	0,91	0,43	0,69	0,68
Эффектный		22,2	24,5	23,9	23,5	0,92	0,38	0,56	0,62
Среднее за год		23,4	25,2	24,8	–	0,87	0,37	0,66	–
Стандартное отклонение		1,7	1,9	1,9	1,9	0,15	0,08	0,11	0,09

С хозяйственной точки зрения большой интерес представляет показатель сбора белка с единицы площади, включающий в себя количество белка в семенах гороха и урожайность сорта.

В среднем за проанализированный период урожайность сортов составила 2,61 т/га, со-

держание белка в зерне – 24,5%, а сбор белка 0,63 т/га. В экстремальном по погодным условиям в 2018 г. урожай гороха был минимальным и составил в среднем всего лишь 1,49 т/га, а содержание белка в зерне – 25,4%, сбор белка – 0,37 т/га (табл. 3).

Таблица 3. Влияние метеорологических условий в период вегетации на урожайность гороха и качество семян (2017–2019 гг.)
Table 3. Effect of weather conditions during the vegetation period on pea productivity and seed quality (2017–2019)

Год исследований	Сумма осадков, мм	Сумма активных температур, °С	ГТК	Урожайность, т/га	Содержание белка, %	Сбор белка, т/га
2017	249,4	1517,3	1,6	3,69	23,4	0,86
2018	93,8	1863,5	0,5	1,49	25,4	0,37
2019	165,4	1822,3	0,9	2,64	24,8	0,66
В среднем за 3 года	169,5	1734,4	1,0	2,61	24,5	0,63

Сильное негативное влияние на урожайность в 2018 г. оказывала высокая температура при низком уровне осадков за период всходы – созревание.

Так, по отношению к благоприятным метеорологическим условиям 2017 г. средняя урожайность по всем сортам была максимально высокой и составила 3,69 т/га, содержание белка в зерне – 23,4%, а сбор белка – 0,86 т/га. Это связано с тем, что суммы активных температур были ниже среднееголетних и подкреплялись

достаточно большим количеством осадков (249,4 мм) за весь вегетационный период гороха, что способствовало хорошему развитию и формированию растений гороха и привело к высоким показателям урожайности.

Для определения зависимости между агрометеорологическими условиями и урожайностью, содержанием белка в семенах и сбором белка был проведен корреляционный анализ данных (табл. 4).

Таблица 4. Корреляционные связи между различными факторами погоды с урожайностью и качеством семян гороха (2017–2019 гг.)

Table 4. Correlations between various weather factors and pea productivity and seed quality (2017–2019)

Показатель	Урожайность, т/га	Содержание белка, %	Сбор белка, т/га
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,98	-0,98	0,96
Сумма активных температур, °С	-0,90	0,99	-0,86
Сумма осадков, мм (за вегетационный период)	0,99	-0,96	0,98
Урожайность, т/га	–	-0,94	0,99*
Содержание белка, %	-0,94	–	-0,91
Сбор белка, т/га	0,99*	-0,91	–

* Связь достоверная сильная на 5%-м уровне значимости.

На основе корреляционного анализа в наших исследованиях выявлена высокая положительная зависимость между урожайностью гороха и величиной гидротермического коэффициента ($r = 0,98$) и суммой осадков ($r = 0,99$). При этом увеличение суммы активных температур приводило к снижению урожайности ($r = -0,90$).

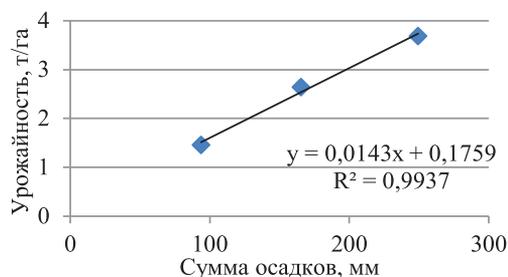
Вместе с тем проведенный корреляционный анализ позволил выявить различное воздействие неустойчивых погодных условий во время вегетации растений на накопление белка. Значительно теснее связь была получена между содержанием белка и активными температурами вегетационного периода ($r = 0,99$), наблюдалась сильная отрицательная взаимосвязь ($r = -0,96$) с выпавшими за вегетацию осадками.

В целом по совокупности анализируемых сортов гороха зафиксирована отрицательная корреляционная взаимосвязь между

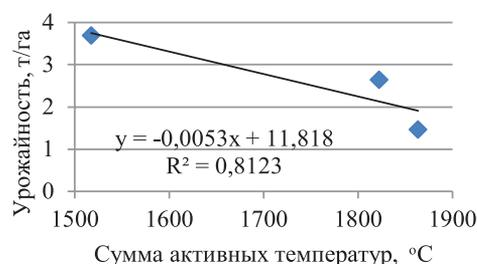
урожаем и количеством белка в зерне ($r = -0,94$).

Показана высокая положительная корреляционная связь между урожайностью и сбором белка ($r = 0,99$). Следует сказать, что сбор белка с единицы площади больше определяется урожайностью сорта, чем содержанием белка в семенах, что согласуется с результатами других исследователей (Зотиков и Боровлев, 2008).

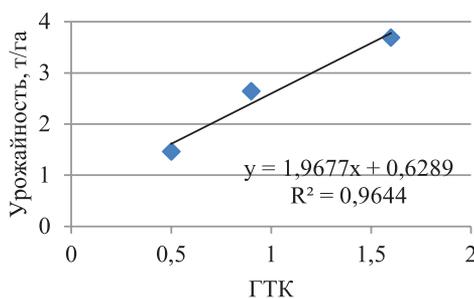
Поскольку между урожайностью, содержанием белка и гидротермическими показателями вегетационного периода прослеживалась взаимосвязь, был проведен регрессионный анализ данных. В результате было установлено, что урожайность сортов гороха на 96,4% зависит от гидротермического коэффициента вегетационного периода, при этом в большей мере на данный показатель оказывает влияние сумма осадков, выпавших за вегетацию (99,3%), в меньшей – сумма активных температур (81,2%) (рис. 2).



а)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость урожайности сортов гороха от суммы осадков (а), суммы активных температур (б) и ГТК (в)

Fig. 2 Dependence of productivity of pea varieties on the amount of precipitation (а), the number of active temperatures (б) and HThC (в)

Определена зависимость содержания белка в зерне гороха от метеорологических условий и урожайности (рис. 3).

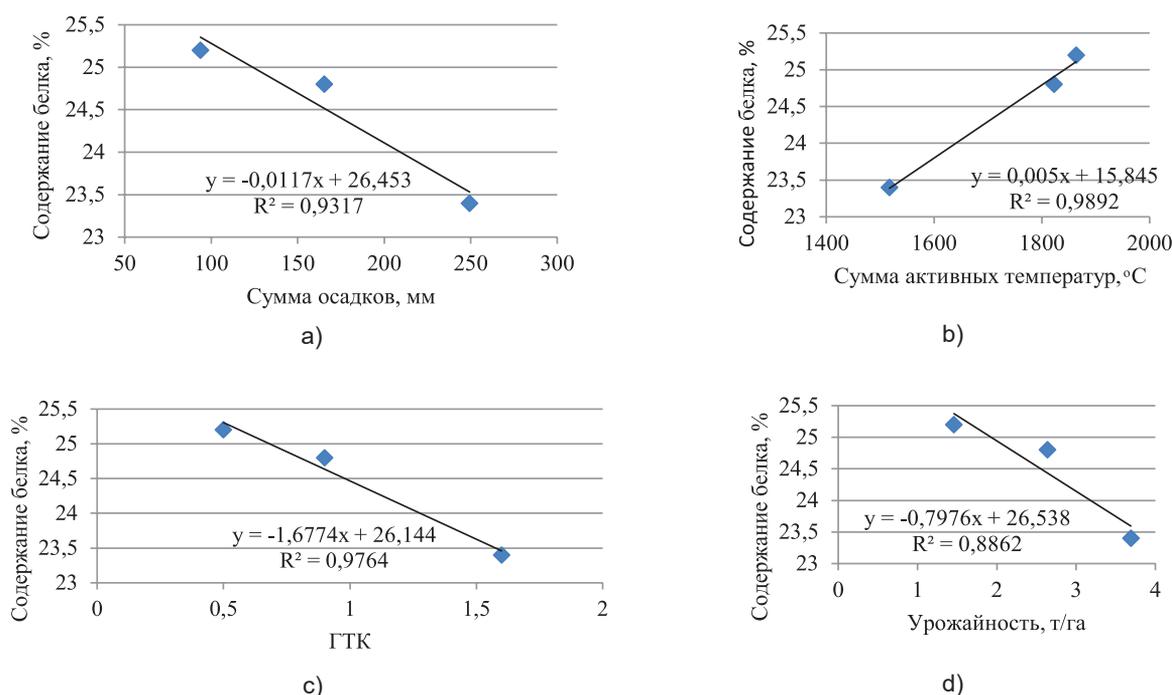


Рис. 3. Зависимость содержания белка в зерне гороха от суммы осадков (а), суммы активных температур (б), ГТК (с) и урожайности (д)
Fig. 3. Dependence of protein percentage in grain on the amount of precipitation (а), the number of active temperatures (б) and HThC (с) and productivity (д)

Регрессионный анализ показал, что содержание белка в зерне гороха в первую очередь зависит от изменения гидротермических условий периода вегетации (97,6%), при этом на данный показатель наибольшее влияние оказывает сумма активных температур (98,9%). Доля влияния осадков за вегетационный период составляет 93,1%.

Доля влияния урожайности на содержание белка в зерне гороха существенно ниже и составляет 88,6%.

Таким образом, на содержание белка в зерне изучаемых сортов гороха непосредственное влияние оказывают как гидротермические условия вегетационного периода, так и урожайность.

Выводы. Проведенные исследования показали, что наиболее адаптивными сорта-

ми в условиях недостаточного увлажнения Ростовской области являлись сорта селекции ФГБНУ ФРАНЦ Сотник, Амулет, Премьер, Альянс, Кадет, Атаман и зарубежной селекции КВС Ла Манш (Германия) и Глянс (Украина), средняя урожайность которых за годы исследований достоверно превысила районированный стандарт на 0,51, 0,62, 0,54, 0,57, 0,59, 0,51, 0,62 и 0,61 т/га. Наибольшее содержание белка получено по сортам Амулет, Премьер, Кадет, Вельвет и КВС Ла Манш (27,7, 28,0, 27,5, 27,3 и 27,3% соответственно). Поэтому полученные данные могут быть использованы в селекционной работе и представляют наибольшую ценность при подборе исходного материала для создания новых высокопродуктивных, технологичных и ценных по качеству сортов гороха.

Библиографические ссылки

1. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Каримов И.К. Влияние метеорологических условий на формирование урожая зерна гороха // Зерновое хозяйство России. 2016. № 5(47). С. 10–16.
2. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Каримов И.К. Сравнительное изучение морфобиологических и хозяйственно-ценных признаков гороха стародавних и современных сортов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 4(40). С. 26–27.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Зотиков В.И., Боровлев А.А. Пути увеличения производства растительного белка в России // Повышение устойчивости производства сельскохозяйственных культур в современных условиях: сборник научных материалов. Орел: ПФ «Картуш», 2008. С.36–49.
5. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2(26). С. 4–9. DOI: 10.24411/2309-348X-201810008.
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: Колос, 1971. 248 с.
7. Омельянюк Л.В. Специфичность реакций сортообразцов гороха различного морфотипа на изменение гидротермического обеспечения периода вегетации // Доклады РАСХН. 2013. № 2. С. 20–23.
8. Пономарева С.В. Оценка сортов полевого гороха (*Pisum Arvense* L.) на содержание белка в зерне: взаимосвязи хозяйственно полезных признаков с погодно-климатическими условиями // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2 (68). С. 13–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-13-17.

9. Селянинов Г.Т. Агроклиматическая карта мира. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 12 с.
10. Кондыков И.В., Бобков С.В., Уварова О.В., Толкачева М.А., Кондыкова Н.Н. Современные европейские сорта гороха – урожайность и содержание белка // Зерновое хозяйство России. 2010. № 5(11). С. 17–20.

References

1. Davletov F.A., Gainullina K.P., Karimov I.K. Vliyanie meteorologicheskikh uslovii na formirovaniye urozhaya zerna gorokha [The effect of weather conditions on pea grain yield formation] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 5(47). S. 10–16.
2. Davletov F.A., Gainullina K.P., Karimov I.K. Sravnitel'noye izuchenie morfobiologicheskikh i khozyaistvenno-tsennyykh priznakov gorokha starodavnikh i sovremennykh sortov [Comparative study of morphobiological and economically valuable traits of ancient and modern pea varieties] // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 4(40). S. 26–27.
3. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. 5-e izd. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
4. Zotikov V.I., Borovlev A.A. Puti uvelicheniya proizvodstva rastitel'nogo belka v Rossii [The methods to improve production of vegetable protein in Russia] // Povysheniye ustoichivosti proizvodstva sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v sovremennykh usloviyakh: sbornik nauchnykh materialov. Orel: PF «Kartush», 2008. S.36–49.
5. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V. Razvitiye proizvodstva zernobobovykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii [Development of the production of leguminous crops in the Russian Federation] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2018. № 2(26). S. 4–9. DOI: 10.24411/2309-348X-201810008.
6. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Vyp. 1. M.: Kolos, 1971. 248 s.
7. Omel'yanyuk L.V. Spetsifichnost' reaktsii sortoobraztsov gorokha razlichnogo morfotipa na izmeneniye gidrotermicheskogo obespecheniya perioda vegetatsii [Specificity of responses of pea varieties of different morphotypes to changes in the hydrothermal conditions of the vegetation period] // Doklady RASKhN. 2013. № 2. S. 20–23.
8. Ponomareva S.V. Otsenka sortov polevogo gorokha (*Pisum Arvense* L.) na sodержание belka v zerne: vzaimosvyazi khozyaistvenno poleznykh priznakov s pogodno-klimaticheskimi usloviyami [Estimation of field pea varieties (*Pisum Arvense* L.) for protein percentage in grain: correlation between economically valuable traits with weather and climatic conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 2(68). S. 13–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-13-17.
9. Selyaninov G.T. Agroklimaticheskaya karta mira [Agro-climatic map of the world]. L.: Gidrometeoizdat, 1966. 12 s.
10. Kondykov I.V., Bobkov S.V., Uvarova O.V., Tolкачева М.А., Кондыкова Н.Н. Современные европейские сорта гороха – урожайность и содержание белка [Modern European pea varieties, productivity and protein percentage] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2010. № 5(11). S. 17–20.

Поступила: 07.07.21; доработана после рецензирования: 25.01.22; принята к публикации: 01.02.22.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Лысенко А.А. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ СОРТ ЯРОМИР И ЕГО УРОЖАЙНОСТЬ В УСЛОВИЯХ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Левакова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, levakova.olga@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-5400-669X
*Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ»,
390502, Рязанская обл., Рязанский р-н, с. Подвязье, ул. Парковая, 1; e-mail: podvyaze@bk.ru*

Исследования проводили в 2017–2021 гг. в конкурсном сортоиспытании на базе ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Почва опытного участка темно-серая лесная, тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу, среднего уровня плодородия. Гидротермические условия вегетационных периодов существенно различались по среднесуточной температуре воздуха и сумме эффективных температур, количеству выпавших осадков. Очень засушливыми условиями характеризовались 2018, 2021 гг. с ГТК 0,51–0,64; засушливыми – 2017, 2019 гг. с ГТК 0,72–0,85; увлажненным, с коэффициентом влагообеспеченности 1,34 характеризовался 2020 год. Цель исследований – выявить влияние метеорологических условий Рязанского региона на межфазные периоды, структуру урожая и продуктивность ярового ячменя сорта Яромир. Установлена взаимосвязь длины вегетационного периода с суммой осадков и ГТК в межфазные периоды всходы – кущение ($r = +0,571$ и $r = +0,607$ соответственно), кущение – колошение ($r = +0,735$ и $r = +0,655$ соответственно) и налив – созревание ($r = +0,881$ и $r = +0,967$ соответственно). Сильные положительные корреляции выявлены между суммой осадков и структурными элементами сорта: количество продуктивных стеблей на 1 м^2 ($r = +0,969$), продуктивная кустистость ($r = +0,947$), высота растений ($r = +0,827$). Средние связи с длиной колоса ($r = +0,562$) и количеством зерен в колосе ($r = +0,453$). Отрицательная средняя связь отмечается с массой 1000 зерен ($r = -0,654$). Выявлено, что среднесуточная температура воздуха вегетационного периода не оказала никакого влияния на формирование структурных элементов данного сорта. Отмечены средние связи между суммой эффективных температур с продуктивной кустистостью ($r = +0,352$) и длиной колоса ($r = +0,538$). На зерновую продуктивность сорта метеорологические условия не оказывали значимого действия. Обнаружено незначительное влияние выпавших осадков и ГТК в фазу кущение – колошение. Минимальное варьирование урожайности по годам ($C_v = 3,5\%$) и раскрытие потенциала продуктивности на 95,1% говорит о том, что данный сорт отличается стабильной урожайностью и адаптивностью к условиям внешней среды данного региона.

Ключевые слова: Рязанская область, *Hordeum vulgare*, сорт, конкурсное сортоиспытание, гидротермический коэффициент, межфазный период, продуктивность, структура урожая.

Для цитирования: Левакова О.В. Влияние агрометеорологических условий на межфазные периоды ярового ячменя сорта Яромир и его урожайность в условиях Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 77–82. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-77-82.



THE EFFECT OF WEATHER CONDITIONS ON THE SPRING BARLEY VARIETY 'YAROMIR' AND ITS PRODUCTIVITY IN THE RYAZAN REGION

O.V. Levakova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of breeding and seed production, levakova.olga@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-5400-669X

*Institute of Seed production and Agrotechnologies, Branch of the FSBSI "FRAC VIM"
390502, Ryazan Region, Ryazan district, v. of Podvyaze, Parkovaya Str., 1; e-mail: podvyaze@bk.ru*

The current study was carried out in 2017–2021 in the Competitive Variety Testing on the basis of the ISPA of the FSBSI "FRAC VIM". The soil of the experimental plot was dark gray forest, heavy loamy in granulometric composition, of medium fertility. The hydrothermal conditions of the vegetation periods differed significantly in terms of the mean daily air temperature and the sum of effective temperatures, and the amount of precipitation. The years of 2018 and 2021 were characterized with very dry conditions with HThC of 0.51–0.64. The years of 2017, 2019 were arid with HThC of 0.72–0.85. The years of 2020 was humid, with a moisture coefficient of 1.34. The purpose of the current study was to establish the effect of weather conditions of the Ryazan region on the interstage periods, the yield structure and productivity of the spring barley variety 'Yaromir'. There has been found a correlation between the length of vegetation period with the amount of precipitation and HThC in the interstage periods of 'germination-tillering' ($r = +0.571$ and $r = +0.607$, respectively), 'tillering-coming into ear' ($r = +0.735$ and $r = +0.655$, respectively) and 'filling-ripening' ($r = +0.881$ and $r = +0.967$, respectively). Strong positive correlations were found between 'amount of precipitation' and the yield structure elements of the variety, namely 'number of productive stems per 1 m^2 ' ($r = +0.969$), 'productive tillering capacity' ($r = +0.947$), 'plant height' ($r = +0.827$). Mean correlations were found between 'amount of precipitation' and 'length of head' ($r = +0.562$) and 'number of kernels per head' ($r = +0.453$). Negative mean correlations were found between 'amount of precipitation' and '1000-kernel weight' ($r = -0.654$). There has been established that the average daily air temperature of the vegetation period had no effect on the formation of the yield structure elements of this variety. There have been identified average correlations between 'sum of effective temperatures' and 'productive tillering' ($r = +0.352$) and 'length of head' ($r = +0.538$). Weather conditions did not have a significant effect on grain productivity of the variety. There has been noted a slight effect of precipitation and HThC in the period 'tillering-coming into ear'.

The minimum variation in the productivity over the years ($C_v = 3.5\%$) and revealing 95.1% of productivity potential indicates that this variety is characterized by stable productivity and adaptability to the weather conditions of this region.

Keywords: Ryazan region, *Hordéum vulgáre*, variety, Competitive Variety Testing, hydrothermal coefficient, interstage period, productivity, yield structure.

Введение. В настоящее время для бесперебойного обеспечения зерном высокого качества и результативности агротехнологических мероприятий необходимо учитывать особенности метеорологических условий каждого региона возделывания сельскохозяйственных культур, продуктивность которых обуславливается свойствами почвы, хозяйственной деятельностью и особенно погодными условиями (Вакула и др., 2018).

Продуктивность – сложная количественная характеристика, которая обычно контролируется несколькими генами и зависит от условий окружающей среды (Георгиева и Косев, 2019; Eroshenko et al., 2021).

В селекционной практике выявлено, что если высокая средняя урожайность культуры есть результат высокой продуктивности только в благоприятных условиях, то такой сорт будет хуже тех, которые обладают лучшей адаптацией к неблагоприятным условиям возделывания (Тулякова и др., 2021).

В селекционной работе, направленной на повышение адаптивного потенциала, исследования по влиянию изменения агрометеорологических условий на зерновую продуктивность сортов ячменя являются актуальными.

Цель исследований – выявить влияние метеорологических условий Рязанского региона на межфазные периоды, структуру урожая и продуктивность ярового ячменя сорта Яромир.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2017–2021 гг. в питомнике конкурсного сортоиспытания

Рязанского филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. В качестве объекта исследований использовали районированный с 2013 г. сорт местной селекции Яромир, являющийся стандартом. Площадь учетной делянки 10 м², повторность четырехкратная. Норма высева – 5,0 млн всхожих семян на 1 га. Предшественник – чистый пар. Почва темно-серая лесная, тяжелосуглинистая по гранулометрическому составу, среднего уровня плодородия. Посев осуществляли при наступлении физической спелости почвы и устойчивых положительных температурах воздуха: 2017 г. – 25 апреля, 2018 г. – 2 мая, 2019 г. – 24 апреля, 2020 г. – 25 апреля, 2021 г. – 6 мая. Уборка проходила в теплую и сухую погоду во все годы исследований комбайном «Сампо-130» в фазу полной спелости сорта: 2017 г. – 23 июля, 2018 г. – 28 июля, 2019 г. – 23 июля, 2020 г. – 29 июля, 2021 г. – 31 июля.

Во время вегетации проводили фенологические наблюдения, оценки и учеты согласно Методике государственного сортоиспытания (2019). Анализ структуры урожая, статистическая обработка экспериментальных данных методами дисперсионного (HCP_{05}), корреляционного (r) и вариационного анализов (C_v , %) рассчитывали в Microsoft Office Excel по методике Б.А. Доспехова (2014). Реализацию потенциала продуктивности сортов определяли по методике Э.Д. Неттевича (2001). По метеорологическим данным ФГБНУ ФНАЦ ВИМ рассчитаны показатели дневной температуры воздуха и суммы осадков за весь период исследований (табл. 1).

Таблица 1. Условия вегетационного периода ячменя ярового сорта Яромир, май – 3 декада июля (2017–2021 гг.)
Table 1. Conditions of the vegetation period of the spring barley variety 'Yaromir', May, the 3rd decade of July (2017–2021)

Годы исследований	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма эффективных температур, °С	Сумма осадков, мм	ГТК
2017	18,7	1499	127,3	0,85
2018	21,6	1709	87,7	0,51
2019	19,5	1643	119,4	0,72
2020	19,1	1650	221,6	1,34
2021	22,1	1903	122,8	0,64
Среднемноголетнее	16,4	1444	153,0	1,06

Абсолютно все годы наблюдений отличались повышенным температурным режимом во все фазы роста и развития ячменя ярового в сравнении со средними многолетними значениями. Существенное увеличение среднесуточных температур воздуха в летние месяцы, сопровождающееся критически низким количеством выпавших осадков или их отсутствием, порождало развитие почвенной и воздушной засухи.

Результаты и их обсуждение. Ячмень яровой относится к культурам раннего срока сева и созревает раньше других сельскохозяйственных культур. За период вегетации ячменя ярового сумма эффективных температур находится в рамках 1500–1700 °С. Для прохождения отдельных межфазных периодов ему необходима обусловленная сумма эффективных температур: для кущения – 134 °С, выхода в трубку – 330 °С, колошения – 388 °С (Васько и др., 2017).

Установлено, что в условиях Рязанской области длина вегетационного периода ячменя ярового сорта Яромир имеет тесную связь с условиями гидротермического режима года ($r = +0,911$). Погодные условия вегетационного периода увеличивают или сокращают продолжительность фаз течения данного сорта: длительность межфазного периода посев – всхо-

ды колебалась от 7 до 10 дней, фаза кущения наступала спустя 12–16 дней после всходов, продолжительность периода кущение – колошение колебалась в интервале 30–36 дней, колошение – налив – 8–10 дней, а налив – созревание – 25–29 дней. Самый короткий период вегетации составил 80 дней (2021 г.), а самый длинный – 88 дней (2020 г.) (табл. 2).

Таблица 2. Метеорологические условия прохождения отдельных периодов развития ярового ячменя (2017–2021 гг.)

Table 2. Weather conditions during individual periods of spring barley development (2017–2021)

Год	Всходы – кущение			Кущение – колошение			Колошение – налив			Налив – созревание			Урожайность, т/га	Вегетационный период, дней	Устойчивость к полеганию, балл
	Сумма эф. t, °C	Сумма осадков, мм	ГТК	Сумма эф. t, °C	Сумма осадков, мм	ГТК	Сумма эф. t, °C	Сумма осадков, мм	ГТК	Сумма эф. t, °C	Сумма осадков, мм	ГТК			
2017	290	19,3	0,66	360	37,2	1,03	172	35,0	2,03	677	35,8	0,53	6,61	82	4,8
2018	321	4,5	0,14	457	6,3	0,14	212	28,6	1,35	719	48,3	0,62	6,03	81	4,5
2019	454	30,9	0,68	438	38,2	0,87	190	10,7	0,56	561	39,6	0,7	6,19	83	4,8
2020	326	92,3	2,83	437	41,9	0,96	246	17,9	0,73	641	69,5	1,08	6,24	88	3,1
2021	355	71,5	2,01	514	9,8	0,19	250	9,7	0,39	784	31,8	0,4	6,41	80	4,8
Среднее	349,2	43,7	1,264	441,2	26,68	0,638	214	20,38	1,012	676,4	45	0,666	6,29	82,8	4,4
НСР ₀₅	2017	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,65	–	–
	2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,61	–	–
	2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,63	–	–
	2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,76	–	–
	2021	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,67	–	–
Коэффициент вариации (CV), %	18,0	84,3	87,8	12,5	64,2	67,4	15,9	54,5	66,6	12,3	33,3	38,4	3,5	3,7	15,7
Корреляция с урожайностью, г	-0,362	+0,139	+0,170	-0,425	+0,310*	+0,418*	-0,257	+0,238*	+0,371*	+0,206	-0,4564*	-0,384	–	–	+0,275*
Корреляция с вегетационным периодом, г	-0,022	+0,571*	+0,607*	-0,276	+0,735*	+0,655*	+0,230*	-0,082	-0,147	-0,562	+0,881*	+0,967*	-0,119	–	-0,899

*Доверительная вероятность $P \geq 0,95$.

Выявлена положительная сопряженность между длиной вегетационного периода и суммой осадков и ГТК в межфазные периоды всходы – кущение ($r = +0,571$ и $r = +0,607$ соответственно), кущение – колошение ($r = +0,735$ и $r = +0,655$ соответственно) и особенно в период налив – созревание ($r = +0,881$ и $r = +0,967$ соответственно). Выявлена отрицательная средняя связь ($r = -0,650$) между длиной вегетационного периода и среднесуточной температурой воздуха.

Есть мнение (Амунова, 2019), что в связи с потеплением климата главным механизмом, лимитирующим зерновую продуктивность растений, является оптимальное количество осадков в критические межфазные периоды развития культуры и температура воздуха. Установлено, что максимальное потребление воды у ярового ячменя приходится на межфазный период всходы – колошение (Филенко и др., 2017). Эта фаза у ярового ячменя считается самой уязвимой, так как в этот период идут процессы набора корневой системы и вегетативной массы, подготовка к генеративному периоду.

Полученные в ходе анализа данные не выявили существенного влияния суммы

эффективных температур воздуха на урожай зерна сорта Яромир. Установлена слабая сопряженность урожайности от сумм осадков ($r = +0,310$) и гидротермического коэффициента ($r = +0,418$) при уровне значимости 0,05, проявляющаяся в межфазный период кущение – колошение.

Распределение средней урожайности ячменя сорта Яромир по условиям вегетационных периодов показало, что в оптимальные годы она находилась на уровне 6,24 т/га, в засушливые годы – 6,40 т/га, в очень сухие – 6,22 т/га. Средняя урожайность в питомнике конкурсного сортоиспытания составила 6,29 т/га и колебалась в незначительном диапазоне ($Cv = 3,5\%$): от 6,03 т/га (2018 г.) до 6,61 т/га (2017 г.). На основании этого можно сделать вывод, что данный сорт отличается стабильной продуктивностью независимо от метеоусловий вегетационного периода.

На фоне различных лимитирующих стресс-факторов внешней среды использование количественных признаков продуктивности требует дополнительного анализа в конкретных почвенно-климатических условиях. Особый интерес представляет возможность выявления элементов продуктивности, имею-

щих различную вариабельность в зависимости от взаимодействия факторов генотип-среда (Левакова и Банникова, 2019). Если вариация суммы эффективных температур межфазных периодов ячменя по годам более-менее стабильна ($C_v = 12,3-18,0\%$), то выпадение осадков в эти периоды крайне неравномерно – коэффициент вариации имел очень высокие значения ($C_v = 33,3-84,3\%$).

Практически на все элементы продуктивности ярового ячменя сорта Яромир повлияли гидротермические показатели вегетационного периода. Так, густота продуктивного

стеблестоя во все годы исследований изменялась в средней степени ($C_v = 19,1\%$). Число продуктивных стеблей на 1 м^2 в зависимости от сложившихся условий вегетации варьировало от 700 (2018 г.) до 1092 (2020 г.). На проявление данного признака существенно повлияли сумма осадков и ГТК ($r = +0,969$ и $r = +0,884$ соответственно) (табл. 3).

Таблица 3. Структура продуктивности ячменя ярового сорта Яромир и его связь с условиями вегетационного периода (2017–2021 гг.)
Table 3. Yield structure of the spring barley variety 'Yaromir' and its correlation with the conditions of the vegetation period (2017–2021)

Показатели структуры	Кол-во растений перед уборкой, шт/м ²	Кол-во продуктивных стеблей, шт/м ²	Коеф-т продуктивной кустистости	Высота растений, см	Длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе, шт	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Годы								
2017	348	722	2,07	94	6,2	21,7	1,10	48,7
2018	320	700	2,19	77	7,6	24,7	1,21	48,8
2019	328	782	2,38	73	8,1	23,7	1,30	50,0
2020	244	1092	4,5	104	8,8	25,7	1,32	41,7
2021	276	828	3,0	77	7,6	21,6	1,01	40,5
Среднее по опыту	303,2	824,8	2,83	85	7,66	23,5	1,19	45,9
Коеффициент вариации (CV), %	13,9	19,1	35,3	15,7	12,4	7,7	10,9	9,7
НСР ₀₅	10,2	8,4	0,09	0,03	0,24	3,2	0,12	1,7
Корреляция с суммой эф. t, г	-0,631	+0,250	+0,352*	-0,415	+0,538*	+0,053	-0,217	-0,657*
Корреляция со среднесуточной температурой, г	-0,182	-0,286	-0,154	-0,635*	+0,073	-0,159	-0,489	-0,313
Корреляция с суммой осадков, г	-0,799	+0,969*	+0,947*	+0,827*	+0,562*	+0,453*	+0,370*	-0,654*
Корреляция с ГТК, г	-0,625	+0,884*	+0,840*	+0,923*	+0,410*	+0,438*	+0,416*	-0,475*
Корреляция с урожайностью, г	+0,191	-0,065	-0,106	+0,358	-0,662	-0,773	-0,622	-0,178

* Доверительная вероятность $P \geq 0,95$.

Установлена существенная зависимость количества продуктивных стеблей от сумм атмосферных осадков ($r = +0,947$) и ГТК ($r = +0,840$). Варьирование по годам коэффициента продуктивной кустистости составило от 2,07 до 4,50. Во влажном 2020 г. сложились благоприятные условия для данного показателя, что превышало средние значения на 62,9%.

Количество растений при уборке варьировало по годам от 244 шт./м² (2020 г.) до 348 шт./м² (2017 г.). На данный показатель значительно повлияла ($r = +0,655$) полевая всхожесть, значения которой были следующими: 2017 г. – 463 шт./м², 2018 г. – 472 шт./м², 2019 г. – 433 шт./м², 2020 г. – 390 шт./м², 2021 г. – 276 шт./м². Низкая полевая всхожесть 2021 г. объясняется аномально жаркой погодой мая (среднесуточная температура в эти дни составляла более 27,0 °С) и образовавшейся после дождей почвенной корки.

На высоту растений повлияли сумма атмосферных осадков ($r = +0,827$) и ГТК ($r = +0,923$):

в оптимальные годы длина соломины увеличилась до 94–104 см, в засушливые уменьшалась до 73–77 см. Данный признак имеет слабую связь с урожайностью ($r = +0,358$).

Озерненность и продуктивность колоса имеют высокую степень связи друг с другом, корреляционная зависимость между этими показателями в опыте составила $r = +0,871$. Проведенный корреляционный анализ выявил, что метеорологические условия не оказали существенного влияния на количество зерен в колосе и массу зерна с колоса.

Незначительное варьирование массы 1000 зерен у сортов предусматривает высокую экологическую пластичность и приспособленность к местным условиям возделывания (Войцуцкая, 2020). Масса 1000 зерен за годы наших исследований мало изменялась по годам ($C_v = 9,7\%$) и характеризовалась высокими значениями данного признака – в среднем 45,9 г. Окончательные размеры зерновок об-

разовываются к концу восковой спелости и до полной спелости. В данный период формируются их масса и качество выращенной продукции. Засушливость данного межфазного периода, как и избыточное увлажнение, нежелательно. Поэтому в 2020 г. в связи с полеганием растений ячменя еще до фазы колошения (осадков в 1 декаде июня выпало 71 мм, что в 4,5 раза больше среднесуточных значений, ГТК составил 3,9), и в 2021 г. (дневные максимальные температуры июля достигали 34,0–35,0 °С, а среднесуточные – 30,9–31,7 °С) наблюдается некоторое снижение данного признака – 41,7 г и 40,5 г соответственно. В этот межфазный период коэффициент корреляции суммы активных температур и массы 1000 зерен имеет отрицательное значение ($r = -0,522$).

На длину колоса в равной степени влияли суммы эффективных температур и осадков ($r = +0,538...+0,562$). Наши исследования показали, что амплитуда изменчивости по длине колоса была средней ($C_v = 12,4\%$), данный показатель за годы изучения в среднем составил 7,66 см.

Среднесуточная температура воздуха вегетационного периода не оказала никакого влияния на формирование структурных элементов данного сорта.

Выводы. Таким образом, в условиях лесостепной зоны Рязанской области на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве среднего уровня плодородия при ежегодном использовании одинаковой агротехники, не мешающей проявлению хозяйственно-биологических особенностей изучаемого сорта, можно

утверждать, что погодные условия не являются определяющим величиной урожая фактором. Полученные в ходе анализа данные не выявили существенного влияния суммы эффективных температур воздуха на продуктивность сорта. Установлена слабая сопряженность урожайности от сумм осадков ($r = +0,310$) и гидротермического коэффициента ($r = +0,418$), проявляющаяся в межфазный период кущение – колошение.

Длина вегетационного периода сорта имеет тесную связь с условиями гидротермического режима года ($r = +0,911$). Выявлена положительная сопряженность между длиной вегетационного периода и суммой осадков и ГТК в межфазные периоды всходы – кущение ($r = +0,571$ и $r = +0,607$ соответственно), кущение – колошение ($r = +0,735$ и $r = +0,655$ соответственно) и особенно в период налив – созревания ($r = +0,881$ и $r = +0,967$ соответственно).

Сильные положительные корреляции выявлены между суммой осадков и структурными элементами сорта: количеством продуктивных стеблей на 1 м² ($r = +0,969$), коэффициентом продуктивной кустистости ($r = +0,947$), высотой растений ($r = +0,827$). Средние связи с длиной колоса ($r = +0,562$) и количеством зерен в колосе ($r = +0,453$). Отрицательная средняя связь отмечается с массой 1000 зерен ($r = -0,654$).

Минимальное варьирование урожайности по годам ($C_v = 3,5\%$) и раскрытие потенциала продуктивности на 95,1% говорит о том, что данный сорт отличается стабильной продуктивностью и адаптивностью к условиям внешней среды данного региона.

Библиографические ссылки

1. Аминова О.С. Влияние метеоусловий на урожайность и качество семян яровой пшеницы // Аграрная наука Северо-Востока России. 2019. № 20(5). С. 437–446. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.437-446>.
2. Вакула С.И., Орловская О.А., Хотылева Л.В., Леонова И.Р. Оценка продуктивности у интродуцированных линий *Triticum aestivum* Т. Тимофеевка в различных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2018. В. 53. № 5. С. 916–926. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.5.916rus>.
3. Васьюко Н.И., Наумов А.Г., Солончак П.Р., Важенина О.Э., Солончак О.В., Кляйн А.В. Зависимость межфазных периодов и урожайности ярового ячменя от погодных условий // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4. С. 77–81.
4. Войцуцкая Н.П. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции озимой мягкой пшеницы в степной зоне Краснодарского края // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4(36). С. 106–116. doi:10.24411/2309-348X-2020-11212.
5. Георгиева Н.А., Косев В.И. Экологическая стабильность боба овощного (*Vicia faba* L.) в условиях органического хозяйства // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 8. С. 981–992. <https://doi.org/10.18699/VJ19.36-o>.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
7. Левакова О.В., Банникова М.И. Скрининг перспективных сортообразцов озимой мягкой пшеницы по элементам структуры урожайности и ее стабильности в условиях Центра Нечерноземья // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 1. С. 35–39.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. Вып. 1. 384 с.
9. Неттевич Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. 2001. № 3. С. 3–6.
10. Тулякова М.В., Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Пермякова С.В., Кротова Н.В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182(1). С. 72–79. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-72-79>.

11. Филенко Г.А., Васильченко С.А., Донцов Д.П. Продуктивность сорта ярового ячменя Леон в зависимости от метеословий в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2017. 1(49). С. 43–49.

12. Eroshenko L.M., Levakova O.V., Gladysheva O.V., Gureeva E.V., Romakhin M.M., Dedushev I.A. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 843. 012005. doi:10.1088/1755-1315/843/1/012005.

References

1. Aminova O.S. Vliyaniye meteoulovii na urozhainost' i kachestvo semyan yarovoi pshenitsy [The effect of weather conditions on the productivity and quality of spring wheat seeds] // Agrarnaya nauka Severo-Vostoka Rossii. 2019. № 20(5). С. 437–446. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.437-446>.

2. Vakula S.I., Orlovskaya O.A., Khotyleva L.V., Leonova I.R. Otsenka produktivnosti u introdutsirovannykh linii *Triticum aestivum* T. Timofeevka v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh [Estimation of productivity in the introduced lines of *Triticum aestivum* T. Timofeevka grass under various environmental conditions] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2018. V. 53. № 5. С. 916–926. <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2018.5.916rus>.

3. Vas'ko N.I., Naumov A.G., Solonchak P.R., Vazhenina O.E., Solonchak O.V., Klyain A.V. Zavisimost' mezhfaznykh periodov i urozhainosti yarovogo yachmenya ot pogodnykh uslovii [Dependence of interphase periods and productivity of spring barley on weather conditions] // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2017. № 4. С. 77–81.

4. Voitsutskaya N.P. Istochniki khozyaistvenno tsennykh priznakov dlya selektsii ozimoi myagkoi pshenitsy v stepnoi zone Krasnodarskogo kraya [Sources of economically valuable traits for the winter bread wheat breeding in the steppe zone of the Krasnodar Territory] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 4(36). С. 106–116 doi:10.24411/2309-348X-2020-11212.

5. Georgieva N.A., Kosev V.I. Ekologicheskaya stabil'nost' boba ovoshchnogo (*Vicia faba* L.) v usloviyakh organicheskogo khozyaistva [Ecological stability of vegetable bean (*Vicia faba* L.) in organic farming] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. T. 23, № 8. С. 981–992. <https://doi.org/10.18699/VJ19.36-o>.

6. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

7. Levakova O.V., Bannikova M.I. Skrininye perspektivnykh sortoobraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy po elementam struktury urozhainosti i ee stabil'nosti v usloviyakh Tsentra Nechernozem'ya [Screening of promising winter bread wheat varieties on the yield structure elements and its stability in the Center of the Non-Blackearth Region] // Vestnik APK Verkhnevolsk'ya. 2019. № 1. С. 35–39.

8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M.: OOO «Gruppa Kompanii More», 2019. Vyp. 1. 384 s.

9. Nettevich E.D. Potentsial urozhainosti rekomendovannykh dlya vozdeleyvaniya v tsentral'nom regione RF sortov yarovoi pshenitsy i yachmenya i ego realizatsiya v usloviyakh proizvodstva [Productivity potential of the spring wheat and barley varieties recommended for cultivation in the Central Region of the Russian Federation and its implementation under production conditions] // Doklady RASKhN. 2001. № 3. С. 3–6.

10. Tulyakova M.V., Batalova G.A., Loskutov I.G., Permyakova S.V., Krotova N.V. Otsenka adaptivnykh parametrov kollektzionnykh obraztsov ovsa plenchatogo po urozhainosti v usloviyakh Kirovskoi oblasti [Estimation of the adaptive parameters of the collection hulled oats samples according to productivity in the Kirov region] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. № 182(1). С. 72–79. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-72-79>.

11. Filenko G.A., Vasil'chenko S.A., Dontsov D.P. Produktivnost' sorta yarovogo yachmenya Leon v zavisimosti ot meteoulovii v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Productivity of the spring barley variety 'Leon' depending on weather conditions in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. 1(49). С. 43-49.

12. Eroshenko L.M., Levakova O.V., Gladysheva O.V., Gureeva E.V., Romakhin M.M., Dedushev I.A. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 843. 012005. doi:10.1088/1755-1315/843/1/012005.

Поступила: 02.12.21; доработана после рецензирования: 22.02.22; принята к публикации: 15.03.22.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Левакова О.В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.11:632.485.13

DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-83-88

РЕАКЦИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ТВЕРДОЙ ГОЛОВНИ (*TILLETIA CARIES* И *T. LAEVIS*) В УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА

Данил Ф. Асхадуллин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2606-6735;

Дамир Ф. Асхадуллин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-2717-7178;

Н.З. Василова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-1135-486x;

Е.В. Зуев², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов пшеницы, e.zuev@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0001-9259-438;

Э.З. Багавиева¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-2659-2393;

М.Р. Тазутдинова¹, научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-4753-7644;

И.И. Хусаинова¹, младший научный сотрудник группы селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-0369-6221

¹Татарский НИИСХ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, 420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 48;

²ФИЦ ВИГРР им. Н.И. Вавилова,

190031, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42–44

Твердая головня пшеницы (ТГ) – заболевание репродуктивных органов, при ведении малозатратного и органического земледелия производители зерна могут столкнуться с существенными потерями от этой болезни. Целью исследований был поиск устойчивых образцов к возбудителям ТГ в условиях Татарстана при искусственной инокуляции семян спорами головни. Были изучены сорта яровой пшеницы, рекомендованные к возделыванию в Республике Татарстан, почти изогенные линии сорта Red Bobs, несущие известные *Bt*-гены *Bt 1-10* из коллекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова. При анализе видовой структуры популяции ТГ, распространенной в Татарстане в течение 9 лет (2012–2020 гг.), было выявлено, что вид *Tilletia caries* превалирует над *T. laevis*, и соотношение видов зависит от рН почвы перед посевом. Минимальное отношение численности спор видов *T. laevis* / *T. caries* в изучаемых образцах отмечалось при рН – 4,5. Коэффициент корреляции между показателями реакции почвенного раствора и соотношением видов составил 0,86 ($t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$ при 1% уровне значимости). Высокоэффективны к татарстанской популяции ТГ за период 2018–2021 гг. являются гены *Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10*. У образцов М83-1621 (кат. ВИР 66238) – США и AC Cadillac (кат. ВИР 64565) – Канада, несущих ген *Bt 10*, признаки заболевания отсутствуют. Большая часть сортов, рекомендованных к возделыванию, – 65%, сильно- и очень сильно восприимчивы к ТГ. Слабо восприимчивы к ТГ три сорта: Черноземноуральская 2, Ситара и Бурлак.

Ключевые слова: пшеница, твердая головня, *Tilletia caries*, *Tilletia laevis*, вирулентность.

Для цитирования: Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Зуев Е.В., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И. Реакция яровой мягкой пшеницы на возбудителей твердой головни (*Tilletia caries* и *T. laevis*) в условиях Татарстана // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-83-88.



SPRING BREAD WHEAT RESPONSE TO KERNEL SMUT PATHOGENS (*TILLETIA CARIES* AND *T. LAEVIS*) IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Danil F. Askhadullin¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the spring wheat breeding group, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2606-6735;

Damir F. Askhadullin¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0002-2717-7178;

N.Z. Vasilova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0003-1135-486x;

E.V. Zuev², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of wheat genetic resources, e.zuev@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0001-9259-438;

E.Z. Bagavieva¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0003-2659-2393;

M.R. Tazutdinova¹, researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0002-4753-7644;

I.I. Khusainova¹, junior researcher of the spring wheat breeding group, ORCID ID: 0000-0002-0369-6221

¹Tatar RIA, a separate structural subdivision of the FRC KazRC RAS, 420059, Kazan, Orenburgsky Trakt Str., 48;

²All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov,

190031, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44

Wheat kernel smut (KS) is a disease of the reproductive organs. With low-cost and organic farming, grain farmers can face significant losses from this disease. The purpose of the current study was to identify resistant samples to KS pathogens in the Republic of Tatarstan during artificial inoculation of seeds with smut spores. There have been studied the spring wheat varieties recommended for cultivation in the Republic of Tatarstan, almost isogenic lines of the Red Bobs variety carrying the known *Bt*-genes *Bt 1–10* from the collection of the All-Russian Institute of Genetic Resources of Plants named after N.I. Vavilov. When analyzing the species structure of the KS population spread in Tatarstan for 9 years (2012–2020), it was found that the species *Tilletia caries* prevailed over *T. laevis* and the ratio of species depended on the soil pH before sowing. The minimum ratio of the number of spores of *T. laevis* / *T. caries* species in the studied samples was noted at the soil pH of 4.5. The correlation coefficient between indicators of soil solution response and species ratio was 0.86 (tfact>ttheor at 1% significance level). The genes *Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10* were highly effective for the Tatarstan KS population in the period of 2018–2021. The samples 'M83-1621' (cat. VIR 66238) of the USA and 'AC Cadillac' (cat. VIR 64565) of Canada carrying the *Bt 10* gene had no signs of the disease. Most of the varieties recommended for cultivation (65%) are highly and very strongly susceptible to KS. Three varieties 'Chernozemnouralskaya 2', 'Sitara' and 'Burlak' are found weakly susceptible to KS.

Keywords: wheat, kernel smut, *Tilletia caries*, *Tilletia laevis*, virulence.

Введение. Твердая головня – одно из наиболее вредоносных заболеваний пшеницы (Wilcoxson and Saari, 1996). Инфицирование растений происходит при прорастании зерна телиоспорами, в основном сохранившимися на поверхности зерна, до цветения болезнь протекает бессимптомно, признаки болезни заметны в молочно-восковую спелость, вместо зерна формируются сорусы со споровым содержимым, которые при обмолоте зерна частично разрушаются и засоряют семена, происходит повторное заражение семян. Данное заболевание приводит не только к прямым потерям урожая, но и к потере качества зерна даже при низком уровне инфицирования (Nagy and Moldovan, 2007). Было показано влияние зараженного головней зерна пшеницы при скармливании мышам альбиносам на увеличение печени и селезенки с острой клеточной дегенерацией и мультифокальными гранулематозными изменениями, это токсическое действие связывают с продуцируемым грибом – триметиламином (веществом, имеющим зловонный запах сеledочного рассола) (Abdullah et al., 2010). Твердая головня считается неопасной болезнью в интенсивном земледелии, так как споры гриба хорошо подавляются химическими фунгицидами, различных классов при предпосевном протравливании (Hofmann and Waldher, 1981; Asif et al., 2021). Однако при ведении малозатратного и органического земледелия производители зерна могут столкнуться с существенными потерями от этой болезни (Matanguihan et al., 2011b). При этом немного сортов имеют устойчивость к данному заболеванию, среди 10759 образцов пшеницы из национальной коллекции злаков США (National Small Grains Collection of USDA-ARS) устойчивы только 5,5% (Bonman et al., 2006). Схожие результаты, но при меньшей выборке (137 образцов), получены и в России – 3,8% (Дерова и др., 2018). Твердую головню пшеницы вызывают в основном два родственных гриба *Tilletia caries* (DC.) Tul. [син. *T. tritici* (Bjerk.) Wint.] и *T. laevis* Kühn [син. *T. foetida* (Wallr.) Liro], различающиеся по морфологии спор. Вид *T. caries* более специфичен для северных регионов возделывания, *T. laevis* – для южных и юго-восточных (Зеленева и др., 2017). В условиях Татарстана были выявлены оба вида, при этом *T. laevis* встречается в значительно

меньшей степени, чем *T. caries* (Василова и др., 2017). Вирулентность *T. caries* и *T. laevis* регулируется одним и тем же набором генов в связи с их тесной генетической связью (Goates, 2012). В настоящее время идентифицировано более шестнадцати генов в геноме пшеницы, отвечающих за расовоспецифическую устойчивость к возбудителям твердой головни (Stefan et al., 2017). Среди них *Bt10* показывает максимальную эффективность и высокую экспрессию (Bokore et al., 2019). В популяциях возбудителя твердой головни пшеницы идет формообразование (Яруллина и др., 2014; Matanguihan et al., 2011a), и эффективность источников устойчивости может снижаться. В этой связи целью наших исследований был поиск устойчивых образцов к возбудителям твердой головни в условиях Татарстана при искусственной инокуляции семян спорами головни. Это позволяет рекомендовать выделенные устойчивые образцы для испытания в системе органического и малозатратного земледелия и селекционных программах на иммунитет.

Материалы и методы исследований. Изучение образцов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителям твердой головни проводили на фоне искусственного заражения в полевых условиях. Соотношение видов возбудителей твердой головни изучали в период с 2012 по 2020 год. Вирулентность татарстанской популяции твердой головни изучали в период 2018–2021 годов. Оценка восприимчивости сортов яровой мягкой пшеницы к твердой головне проводили в годы с благоприятным инфекционным фоном – в 2017, 2018 и 2020-м, когда степень поражения у восприимчивого стандарта составила более 50%. Полевые испытания проводились на полях экспериментальной базы Татарского НИИСХ, расположенного в северной части Среднего Поволжья, в 15 км южнее города Казань. Погодные условия в весенне-летний период в месте испытания были характерны для лесостепной зоны Поволжья с частыми засухами и высокими температурами, исключение – аномальные 2017 и 2019 гг., характеризовавшиеся избыточным увлажнением. Почва серая лесная, тяжелосуглинистая. Заражение семян проводили весной перед посевом путем инокулирования сухих семян (Кривченко, Хохлова, 2008). Инокулюм собирался с районированных

сортов в предшествующий посеву год. Посев проводили в двукратной повторности, в повторности два ряда длиной 1 м, междурядье 15 см, норма высева 250 семян, глубина посева 8–10 см. Срок посева – конец апреля – начало мая, при первой технической возможности посева. Оценку на устойчивость к твердой головне проводили в фазу молочно-воско-

вой спелости. Степень поражения определяли по количеству колосьев с признаками болезни к общему количеству подсчитанных колосьев в процентах. Оценку устойчивости или восприимчивости образцов проводили по шкале, предложенной нами ранее (табл. 1) (Василова и др., 2017).

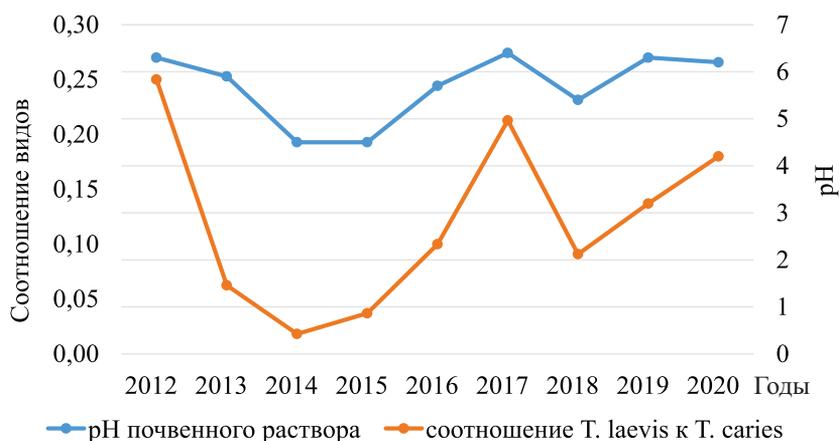
Таблица 1. Шкала оценки устойчивости/восприимчивости к твердой головне
Table 1. Rating scale for kernel smut resistance/susceptibility

№ п/п	Группа	Степень поражения, %
1	Высокоустойчивые	0
2	Слабовосприимчивые	до 15
3	Средневосприимчивые	до 30
4	Сильновосприимчивые	31–60
5	Очень сильно восприимчивые	Более 60

Анализ семян яровой пшеницы на выявление возбудителей головневых болезней проводили методом обмывки семян (суспензии спор) и центрифугирования по ГОСТ 12044-93. Идентификацию видов проводили по морфологии спор (Наумова, 1970). По реакции яровой мягкой пшеницы на возбудителей твердой головни были изучены 26 сортов яровой пшеницы, рекомендованные к возделыванию в Республике Татарстан, почти изогенные линии сорта Red Bobs, несущие известные *Vt*-гены *Vt 1–10*, из коллекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова.

Результаты и их обсуждение. Изучение видового состава возбудителей твердой головни в посевах яровой пшеницы в течение 9 лет (2012–2020 гг.) показало, что во все годы в отобранных образцах присутствуют телеоспоры двух видов – *T. caries* и *T. laevis*, существенное до-

минирование первого вида отмечается во все годы изучения, соотношение видов *T. laevis* / *T. caries* изменялось от 1/55 в 2014 г. до 1/4 в 2012 г., в среднем за 9 лет 1/8. Условия для инфицирования твердой головней в годы изучения (температура, влажность почвы, pH среды) различались, попытка связать преобладание численности спор вида *T. caries* над *T. laevis* в урожае с различиями температуры почвы на глубине 5 см в период посева – прорастания семян за несколько лет изучения, предпринятая нами ранее, не нашла подтверждения (Василова и др., 2017). При изучении влияния pH почвенного раствора перед посевом на соотношение видов в течение 9 лет прослеживается устойчивая тенденция – чем выше pH, тем больше численность спор *T. laevis* в споровой массе полученного урожая (см. рисунок).



Соотношение видов возбудителей твердой головни и pH почвенного раствора перед посевом на участке выращивания пшеницы
Ratio of species of kernel smut pathogens and the soil solution pH in the area of wheat cultivation before sowing

Минимальное отношение численности спор видов *T. laevis* / *T. caries* в изучаемых образцах отмечалось при pH – 4,5. Коэффициент корреляции между показателями реакции почвенного раствора и соотношением видов со-

ставил 0,86 (корреляционная связь существенна при 1%-м уровне значимости).

При анализе вирулентности популяции твердой головни, циркулирующей в Татарском НИИСХ и, вероятно, охватывающей

Средневолжский регион, выявлено, что высокоэффективными остаются гены *Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10*, при этом у образцов, несущих ген *Bt 10*, признаки заболевания отсутствуют (табл. 2).

Таблица 2. Вирулентность татарстанской популяции твердой головки пшеницы
Table 2. Virulence of the Tatarstan wheat kernel smut population

Тестируемая линия, сорт	Ген	№ по каталогу ВИР	Степень поражения 2018–2021 гг., %	Стандартное отклонение (SD)	Вирулентность*
M83-1531	<i>Bt 1</i>	66229	20,9	23	+
M83-1541	<i>Bt 2</i>	66230	7,1	8	–
M83-1551	<i>Bt 3</i>	66231	20,4	23	+
M81-152	<i>Bt 4</i>	66232	17,5	26	+
M83-1581	<i>Bt 5</i>	66233	1,3	3	–
M83-1591	<i>Bt 6</i>	66234	15,5	15	+
M83-1601	<i>Bt 7</i>	66235	28,3	33	+
M78-9496	<i>Bt 8</i>	66236	2,1	3	–
M77-1140	<i>Bt 9</i>	66237	5,0	10	–
M83-1621	<i>Bt 10</i>	66238	0,0	0	–
АС Cadillac	<i>Bt 10</i>	64565	0,0	0	–
Челяба Степная, восприимчивый, ст.	–	64872	46,5	37	+

* Степень поражения 0–15% – авирулентная реакция (–), более 15% – вирулентная реакция (+).

Среди 26 рекомендованных Госсортомкомиссией к возделыванию в республике Татарстан на 2021 г. сортов яровой мягкой пшеницы слабовосприимчивыми к твердой головне оказались только три: Черноземноуральская 2, Ситара и Бурлак. Большая часть сортов сильно- и очень сильно восприимчивы к твердой головне, иммунные сорта отсутствуют (табл. 3).

Таблица 3. Степень поражения сортов яровой мягкой пшеницы твердой головней на искусственном инфекционном фоне (2017, 2018, 2020 гг.)
Table 3. Kernel smut damage degree of the spring bread wheat varieties on an artificial infectious background (2017, 2018, 2020)

Сорт	Степень поражения, %	Стандартное отклонение (SD)	Группа
Черноземноуральская 2	9	8	слабовосприимчивые
Ситара	5	1	
Бурлак	4	5	
Балкыш	24	14	средневосприимчивые
Экада 66	25	13	
Симбирцит	23	16	
Злата	23	18	
Архат	18	12	
Экада 214	30	21	
Тулайковская 10	50	22	сильновосприимчивые
Казанская Юбилейная	47	12	
Эстер	38	11	
Экада 70	33	24	
Маргарита	46	29	
Экада 109	32	13	
Экада 113	31	21	
Йолдыз	53	3	
Иделле	48	21	
Хаят	60	15	
Тулайковская 108	47	33	
Уралосибирская	48	25	
Екатерина	50	35	
Аль Варис	31	24	
Ульновская 105	27	17	
Тулайковская Надежда	67	35	очень сильно восприимчивые
Челяба Степная	75	18	

Популяционная структура твердой головки претерпевает изменения. Широко распространенные в производстве Среднего Поволжья сорта Симбирцит, Злата, Маргарита, Экада 70, Экада 66, Экада 109 имели высокую устойчивость к твердой головне до 2016 г. (Василова

и др., 2017), но к настоящему времени их устойчивость сильно снижается.

Вирулентность популяции твердой головни, распространенной в Татарстане, отличается от популяции, распространенной в Центрально-Черноземном регионе, где высоко эффективным остается ген *Bt 4* и не эффективен ген *Bt 2* (Репникова и др., 2020).

Выводы. Возбудителями твердой головни, распространенной в Татарстане, являются два вида – *Tilletia caries* и *T. laevis*, количество спор *T. caries* в собранной споровой массе превалирует над *T. laevis*. При этом кислотность почвы является одним из регуляторов численности видов, вызывающих твердую головню. Из 10 доминантных генов устойчивости к твердой головне, наиболее широко представленных в коммерческих сортах, остаются эффективными в условиях Татарстана 5 (*Bt 2*, *Bt 5*, *Bt 8*, *Bt 9*, *Bt 10*). У образцов, несущих ген *Bt 10*, признаков болезни

не регистрировалось. Образцы, несущие ген *Bt 10*, могут быть использованы как надежный источник в селекции на иммунитет к твердой головне. Из рекомендованных к возделыванию в Республике Татарстан сортов яровой мягкой пшеницы слабовосприимчивы к твердой головне три сорта: Черноземноруральская 2, Ситара и Бурлак, которые подходят по этому параметру для испытания в системе органического и мало-затратного земледелия.

Статья подготовлена в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды».

Библиографические ссылки

1. Василова Н.З., Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Зайцева Т.В., Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Насихова Г.Р. Восприимчивость яровой мягкой пшеницы к татарстанской популяции твердой головни // Зерновое хозяйство России. 2017. № 5(53). С. 8–11.
2. Дерова Т.Г., Шишкин Н.В., Павленко О.С. Устойчивость сортов и коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы к комплексу наиболее вредоносных болезней в условиях Нижнего Дона // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6(60). С. 68–72.
3. Зеленева Ю.В., Плахоткин В.В., Судникова В.П. Структура патогенных свойств популяции возбудителя твердой головни пшеницы (*Tilletia caries* (D.C.) Tul) в Центрально-Черноземном регионе // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2017. Т. 22. Вып. 2. С. 404–410.
4. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головневые болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Под ред. Е.Е. Радченко. М.: Россельхозакадемия, 2008. С. 32–85.
5. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. М.: Колос, 1970. 208 с.
6. Репникова Е.Г., Зеленева Ю.В., Судникова В.П. Головневые болезни пшеницы на территории Центрально-Черноземного заповедника, выявление источников и доноров устойчивости // Научные труды СКФНЦСВВ. 2020. Т.29. С. 214–221. DOI:10.30679/2587-9847-2020-29-214-221.
7. Яруллина Л.Г., Трошина Н.Б., Сурина О.Б., Кулуев Б.Р., Исаев Р.Ф., Ахатова А.Р., Касимова Р.И., Яруллина Л.М., Ибрагимов Р.И. Морфофизиологическая и генетическая характеристика возбудителя твердой головни пшеницы *Tilletia caries* из агроценозов Южного Урала с различной пестицидной нагрузкой // Агротехника. 2014. № 2. С. 60–65.
8. Abdullah T.S., Hashim A.J., Mustafa B.I. Study the pathological effects of covered smut infected wheat in albino mice Iraqi // Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9. Iss. 2. P. 248–257.
9. Asif M., Strydhorst S., Strelkov S.E., Terry A., Harding M.W., Feng J., Yang R.C. Evaluation of disease, yield and economics associated with fungicide timing in Canadian Western Red Spring wheat // Canadian Journal of Plant Science. 2021. e-First P. 1–18. DOI: 10.1139/cjps-2020-0318.
10. Bokore F.E., Cuthbert R.D., Knox R.E., Singh A., Campbell H.L., Pozniak C.J., N'Diaye A., Sharpe A.G., Ruan Y. Mapping quantitative trait loci associated with common bunt resistance in a spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Lillian // Theoretical and Applied Genetics. 2019. Vol. 132. P. 3023–3033. DOI:10.1007/s00122-019-03403-3.
11. Bonman M.J., Bockelman H.E., Goates B.J., Obert D.E., McGuire P.E., Qualset C.O., Hijmans R.J. Geographic Distribution of Common and Dwarf Bunt Resistance in Landraces of *Triticum aestivum* subsp. *aestivum* // Crop Science. 2006. Vol.46. Iss.4. P. 1622–1629. DOI:10.2135/cropsci2005.12-0463.
12. Goates B.J. Identification of New Pathogenic Races of Common Bunt and Dwarf Bunt Fungi, and Evaluation of Known Races Using an Expanded Set of Differential Wheat Lines // Plant Disease. 2012. Vol.96 №.3. P. 361–369 DOI:10.1094/ PDIS-04-11-0339.
13. Hofmann J.A., Waldher J.T. Chemical seed treatments for controlling seedborne and soilborne common bunt of wheat // Plant Disease. 1981 Vol. 65. № 3. P. 256–259.
14. Matanguihan J.B., Jones S.S. A New Pathogenic Race of *Tilletia caries* Possessing the Broadest Virulence Spectrum of Known Races // Plant Health Progress. 2011. Vol. 12. № 1. P. 1–9. DOI:10.1094/PHP-2010-0520-01-RS.
15. Matanguihan J.B., Murphy K.M., Jones, S.S. Control of common bunt in organic wheat // Plant Disease. 2011. Vol. 95. № 2. P. 92–103. DOI: 10.1094/PDIS-09-10-0620.
16. Nagy E., Moldovan V. The effect of fungicide treatments on wheat common bunt (*Tilletia* spp.) in Transylvania // Romanian agricultural research. 2007. № 24. P. 33–38.
17. Stefan P.M., Torp A.M., Borgen A., Backes G., Rasmussen S.K. Mapping of common bunt resistance gene *Bt9* in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130. P. 1031–1040. DOI:10.1007/s00122-017-2868-6.

18. Wilcoxson, R.D., Saari E.E. Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1996. 67 p.

References

1. Vasilova N.Z., Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Zaitseva T.V., Bagavieva E.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I., Nasikhova G.R. Vospriimchivost' yarovoi myagkoi pshenitsy k tatarstanskoi populyatsii tverdoi golovni [Susceptibility of spring bread wheat to the Tatarstan kernel smut population] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 5(53). S. 8–11.
2. Derova T.G., Shishkin N.V., Pavlenko O.S. Ustoichivost' sortov i kollektcionnykh obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy k kompleksu naibolee vredonosnykh boleznei v usloviyakh Nizhnego Dona [Resistance of varieties and collection samples of winter bread wheat to the complex of the most harmful diseases in the conditions of the Lower Don] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6(60). S. 68–72.
3. Zeleneva Yu.V., Plakhotkin V.V., Sudnikova V.P. Struktura patogennykh svoystv populyatsii vzbuditelya tverdoi golovni pshenitsy (*Tilletia caries* (D.C.) Tul) v Tsentral'no-Chernozemnom regione [The structure of pathogenic properties of the population of wheat kernel smut pathogen (*Tilletia caries* (D.C.) Tul) in the Central Blackearth region] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennyye i tekhnicheskie nauki. 2017. T. 22. Vyp.2. S. 404–410.
4. Krivchenko V.I., Khokhlova A.P. Golovnevye bolezni zernovykh kul'tur [The study of genetic resources of grain crops for resistance to pests] // Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoichivosti k vrednym organizmam. Pod red. E.E. Radchenko. M.: Rossel'khozakademiya, 2008. S. 32–85.
5. Naumova N.A. Analiz semyan na gribnyuyu i bakterial'nuyu infektsiyu [Seed analysis for fungal and bacterial infection]. M.: Kolos, 1970. 208 s.
6. Repnikova E.G., Zeleneva Yu.V., Sudnikova V.P. Golovnevye bolezni pshenitsy na territorii Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika, vyyavlenie istochnikov i donorov ustoichivosti [Smut diseases of wheat in the territory of the Central Blackearth Reserve, identification of sources and donors of resistance] // Nauchnye trudy SKFNTsSVV. 2020. T.29. S. 214–221. DOI:10.30679/2587-9847-2020-29-214-221.
7. Yarullina L.G., Troshina N.B., Surina O.B., Kuluev B.R., Isaev R.F., Akhatova A.R., Kasimova R.I., Yarullina L.M., Ibragimov R.I. Morfofiziologicheskaya i geneticheskaya kharakteristika vzbuditelya tverdoi golovni pshenitsy *Tilletia caries* iz agrotsenozov Yuzhnogo Urala s razlichnoi pestitsidnoi nagruzkoj [Morphophysiological and genetic characteristics of the wheat kernel smut pathogen *Tilletia caries* from agrocenoses of the Southern Urals with different pesticide load] // Agrokhimiya. 2014. № 2. S. 60–65.
8. Abdullah T.S., Hashim A.J., Mustafa B.I. Study the pathological effects of covered smut infected wheat in albino mice Iraqi // Journal of Biotechnology. 2010. Vol. 9. Iss. 2. P. 248–257.
9. Asif M., Strydhorst S., Strelkov S.E., Terry A., Harding M.W., Feng J., Yang R.C. Evaluation of disease, yield and economics associated with fungicide timing in Canadian Western Red Spring wheat // Canadian Journal of Plant Science. 2021. e-First R. 1–18. DOI: 10.1139/cjps-2020-0318.
10. Bokore F.E., Cuthbert R.D., Knox R.E., Singh A., Campbell H.L., Pozniak C.J., N'Diaye A., Sharpe A.G., Ruan Y. Mapping quantitative trait loci associated with common bunt resistance in a spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Lillian // Theoretical and Applied Genetics. 2019. Vol. 132. R. 3023–3033. DOI:10.1007/s00122-019-03403-3.
11. Bonman M.J., Bockelman H.E., Goates B.J., Obert D.E., McGuire P.E., Qualset C.O., Hijmans R.J. Geographic Distribution of Common and Dwarf Bunt Resistance in Landraces of *Triticum aestivum* subsp. *aestivum* // Crop Science. 2006. Vol.46. Iss.4. P. 1622–1629. DOI:10.2135/cropsci2005.12-0463.
12. Goates B.J. Identification of New Pathogenic Races of Common Bunt and Dwarf Bunt Fungi, and Evaluation of Known Races Using an Expanded Set of Differential Wheat Lines // Plant Disease. 2012. Vol.96 №.3. P. 361–369 DOI: 10.1094/ PDIS-04-11-0339.
13. Hofmann J.A., Waldher J.T. Chemical seed treatments for controlling seedborne and soilborne common bunt of wheat // Plant Disease. 1981 Vol. 65. N3. P.256–259.
14. Matanguihan J.B., Jones S.S. A New Pathogenic Race of *Tilletia caries* Possessing the Broadest Virulence Spectrum of Known Races // Plant Health Progress. 2011. Vol. 12. № 1. R. 1–9. DOI:10.1094/ PHP-2010-0520-01-RS.
15. Matanguihan J.B., Murphy K.M., Jones, S.S. Control of common bunt in organic wheat // Plant Disease. 2011. Vol. 95. № 2. R. 92–103. DOI: 10.1094/PDIS-09-10-0620.
16. Nagy E., Moldovan V. The effect of fungicide treatments on wheat common bunt (*Tilletia* spp.) in Transylvania // Romanian agricultural research. 2007. № 24. P. 33–38.
17. Stefan P.M., Torp A.M., Borgen A., Backes G., Rasmussen S.K. Mapping of common bunt resistance gene Bt9 in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130. P. 1031–1040. DOI:10.1007/s00122-017-2868-6.
18. Wilcoxson, R.D., Saari E.E. Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1996. 67 r.

Поступила: 09.11.21; доработана после рецензирования: 01.02.22; принята к публикации: 09.02.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф. – сбор и анализ данных, их интерпретация, подготовка рукописи; Василова Н.З. – концептуализация исследования; Зуев Н.В. – курирование генетической коллекции пшеницы; Багавиева Э.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УСТОЙЧИВОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ К БУРОЙ РЖАВЧИНЕ (*Puccinia triticina*) И МУЧНИСТОЙ РОСЕ (*Blumeria graminis*) В АНЦ «ДОНСКОЙ»

Т.Г. Дерова, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;

Н.В. Шишкин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297;

О.С. Кононенко, агроном лаборатории иммунитета и защиты растений, olapavlenko3008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7012-6440;

Н.Е. Самофалова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Для увеличения производства продовольственного зерна озимой твердой пшеницы, обладающего высоким качеством для производства круп и макаронных изделий, необходимо увеличение посевных площадей, для которых нужны сорта, отвечающие требованиям современного производства, – высокоурожайные, с заданными параметрами качества зерна и устойчивые к болезням. Как и у мягкой пшеницы, у твердой озимой из вредоносных болезней являются бурая ржавчина и мучнистая роса. Общеизвестными методами борьбы с ними является создание устойчивых к патогенам сортов. Селекция на устойчивость этой культуры в ФГБНУ «АНЦ «Донской» проводится с середины прошлого столетия, в результате чего были выведены сорта, уровень устойчивости которых непрерывно возрастает. Так, в различные годы были созданы и высевались в производстве не поражаемые бурой ржавчиной и мучнистой росой сорта: Новинка 5, Дончанка, Донской январь, Терра, Агат донской, Лазурит и др. Цель исследования – поиск новых надежных источников устойчивости к данным болезням для вовлечения в селекционные программы на иммунитет. Изучение проводили на посевах инфекционных фонов в 2015–2021 гг., используя северокавказские популяции возбудителей бурой ржавчины и мучнистой росы. В процессе испытания 63 сортов озимой твердой пшеницы разного эколого-географического происхождения из межстанционного сортоиспытания выделено 26 сортов, устойчивых к мучнистой росе, 20 – к бурой ржавчине и 17 – к обоим патогенам. Среди выделенных сортов с групповой устойчивостью представители как российской селекции: Круча, Кермен, Крупинка, Добряна и др., так и зарубежной: Акведук, Андромеда, Кассиопея, Афина, Прибуткова и др.

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, мучнистая роса, бурая ржавчина, устойчивость, инфекционные фоны.

Для цитирования: Дерова Т.Г., Шишкин Н.В., Кононенко О.С. Устойчивость сортов озимой твердой пшеницы к бурой ржавчине (*Puccinia triticina*) и мучнистой росе (*Blumeria graminis*) в Аграрном научном центре «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 2. С. 89–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-89-94.



BROWN RUST (*Puccinia triticina*) AND POWDERY MILDEW (*Blumeria graminis*) RESISTANCE OF THE WINTER DURUM WHEAT VARIETIES AT ARC “DONSKOY”

T.G. Derova, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;

N.V. Shishkin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297;

O.S. Kononenko, agronomist of the laboratory for plant immunity and protection, olapavlenko3008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7012-6440;

N.E. Samofalova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, samofalova.1986@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164

Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

In order to increase food grain production of winter durum wheat, which is of high quality for producing cereals and pasta, it is necessary to increase the sown areas, which require varieties that meet the requirements of modern production to develop highly productive varieties with specified grain quality parameters and resistance to diseases. Both for bread wheat and durum wheat the harmful diseases are leaf rust and powdery mildew. The generally accepted methods of fighting them is the development of pathogen resistant varieties. Breeding for the resistance of this crop

has been carried out at the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" since the middle of the last century, as a result of which there were developed the varieties with the constantly increasing level of resistance. Through different years, there were developed and sown the varieties 'Novinka 5', 'Donchanka', 'Donskoy yantar', 'Terra', 'Agat Donskoy', 'Lazurit' which were not infected by brown rust and powdery mildew. The purpose of the study was to identify new reliable sources of resistance to these diseases in order to use them in breeding programs for immunity. The study was carried out on infectious backgrounds in 2015–2021, using the North Caucasian populations of leaf rust and powdery mildew pathogens. In the trials there were identified 63 winter durum wheat varieties of different ecological and geographical origin from inter-station variety testing, 26 powdery mildew resistant varieties, 20 leaf rust resistant varieties and 17 varieties resistant to both pathogens. Among the identified varieties with group resistance there are both the Russian varieties 'Krucha', 'Kermen', 'Krupinka', 'Dobryana' and others, and foreign varieties 'Akveduk', 'Andromeda', 'Kassiopeya', 'Afina', Pributkova and others.

Keywords: winter durum wheat, powdery mildew, brown rust, resistance, infectious backgrounds.

Введение. Важнейшим фактором увеличения производства продовольственного зерна озимой твердой пшеницы на юге России является расширение посевных площадей под этой культурой (Самофалова и др., 2020). Для этой задачи необходимы как уже высеваемые сорта озимой твердой пшеницы, так и новые, характеризующиеся стабильным продуктивным потенциалом, высокими технологическими качествами зерна (высоконатурное, с эластичной и упругой клейковиной, повышенным содержанием белка и каротиноидов), устойчивостью и выносливостью к основным болезням (Васильчук, 2001).

Одними из основных болезней озимой твердой пшеницы (как и мягкой) являются бурая ржавчина и мучнистая роса. Бурая ржавчина (*Puccinia triticina*) поражает в основном листья, что приводит к потере урожая до 20–30%. Мучнистая роса (*Blumeria graminis tritici*) проявляется на стеблях и листьях, иногда колосьях, причиняя ущерб урожаю до 10–15%. В годы массового развития этих болезней вредоносность значительно увеличивается (Simeone et al., 2020). Сроки первичного заражения растений патогенами и интенсивность развития заболевания при благоприятных погодных условиях прямо пропорциональны снижению урожая зерна.

В мировой селекции защита посевов от болезней осуществляется путем создания толерантных и устойчивых сортов (Mishra et al., 2015). Особенно они необходимы в использовании против болезней листовых зерновых культур, так как другие меры борьбы в этом случае непрактичны. Устойчивые сорта служат идеальным методом борьбы, сдерживающим эпифитотии, повышающим урожай и улучшающим экологическую среду в целом (Aoun et al., 2021).

Озимая твердая пшеница в Ростовской области занимает в настоящее время 10–15 тыс. га, или 0,5–0,8% от посева озимой мягкой пшеницы, что соответствует и другим регионам юга России (Самофалова и др., 2020).

Селекция этой культуры в ФГБНУ «АНЦ «Донской» начата с середины прошлого столетия, и работы по созданию устойчивых к болезням сортов проводятся непрерывно и целенаправленно многие годы.

Изучение селекционного материала при естественном развитии болезней имеет важное значение, особенно в годы массового

проявления болезней, но оценка в условиях искусственных инфекционных фонов является надежным гарантированным методом изучения устойчивости растений. Это позволяет ускорить выявление сортов с потенциальной устойчивостью или вовремя провести браковку восприимчивых.

Исходя из многолетних наблюдений, необходимо отметить, что устойчивость сортов, созданных на первых этапах селекции, с годами использования в производстве снижается, и они со временем становятся более восприимчивыми к бурой ржавчине и мучнистой росе. Для создания новых устойчивых сортов необходимо привлечение других источников и доноров с более широким диапазоном резистентности к данным болезням.

В связи с этим цель нашего исследования – поиск наиболее надежных, ценных для селекции источников устойчивости к бурой ржавчине и мучнистой росе среди нового сортимента озимой твердой пшеницы для вовлечения в селекционные программы на иммунитет.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на полевом участке лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2015–2021 годах. Объектом исследований являлись возбудители северокавказских популяций бурой ржавчины и мучнистой росы. Материалом изучения были 63 сорта межстанционного сортоиспытания (МС) озимой твердой пшеницы, полученные из различных селекционных учреждений. Нужно отметить, что количество сортов этого вида пшеницы по сравнению с мягкой пшеницей ограничено как в коллекции ВИР, так и в научных учреждениях, занимающихся селекцией этой культуры. Российский сортимент был представлен сортами из 5 учреждений, зарубежный – из двух Украины и двух Германии.

Инфекционные фоны по бурой ржавчине и мучнистой росе создавали ежегодно по методу, разработанному для листовых болезней в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Дерова, 1987). Метод разработан для засушливых погодных условий, характерных для Ростовской области, так как другие общепринятые методы здесь были малоэффективны.

Испытуемые сорта высевали 2-рядковыми деланками длиной 1 м, которые располагались полосами. Между полосами и с торцов обсеивали смесью восприимчивых сортов, состоящей из наиболее поражаемых сортов и коллекци-

онных образцов, собранных за многие годы исследований и постоянно пополняемых новыми неустойчивыми современными сортами и селекционными образцами.

Степень поражения сортов бурой ржавчиной определяли по общеизвестной шкале Петерсона (Гультяева, Солодухина, 2008), а уровень развития мучнистой росы – по шкале ВИР (Вавилова, 1986). Инокуляцию растений бурой ржавчиной проводили в вечернее время смесью урединиоспор с мукой. Пораженные листья с обильным спороношением мучнистой

росы разбрасывали на восприимчивые сорта. Увлажнение растений проводили в момент заражения и для усиления перезаражения.

В качестве тест-сортов по восприимчивости использовались сорт Днепряна (Украина) – к бурой ржавчине, сорт Алтана (Украина) – к мучнистой росе.

В годы сильного развития болезней восприимчивые тест-сорты имели поражение бурой ржавчиной до 100%, мучнистой росой – до 3 баллов. В засушливые годы оценки их были ниже (табл. 1).

Таблица 1. Поражение восприимчивых тест-сортов озимой пшеницы при искусственном заражении болезнями, инфекционные фоны (2015–2021 гг.)
Table 1. Damage of the susceptible testing winter wheat varieties under artificial infection with diseases, infectious backgrounds (2015–2021)

Тест-сорта	Годы исследований						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
К бурой ржавчине, %	100	100	100	–	50–60	60–80	100
К мучнистой росе, балл	2–2,5	2,5	3	2,5–3	2,5–3	2,5	3

Проводилось несколько учетов проявления поражения патогенами в период вегетации, но основной оценкой является учет в период максимального проявления болезни.

Метеоусловия в годы проведения опытов различались по температурному режиму и, что наиболее важно для развития листовых болезней, влагообеспеченности. Среднегодовые показатели осадков и температуры в зоне проведения исследований составляли 582,4 мм и 9,7 °С соответственно. Во все годы (2015–2021) наблюдался повышенный температурный режим от 1,6 до 2,1 °С и сниженные количества осадков от 66,6 до 128,8 мм.

Неравномерное распределение осадков в вегетационном периоде (особенно апрель, май, июнь) в отдельные годы (2018, 2020) приводило к снижению относительной влажности воздуха и сдерживанию развития болезней.

Результаты и их обсуждение. На искусственных инфекционных фонах, создаваемых в лаборатории иммунитета и защиты растений, ежегодно испытываются более 400 сортов и сортообразцов озимой твердой пшеницы.

Так, в различные годы созданы и рекомендованы в производство сорта, проявляющие как восприимчивость, так и высокую устойчивость к этим патогенам (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе, инфекционные фоны (1978–2021 гг.)
Table 2. Characteristics of the winter durum wheat varieties on leaf rust and powdery mildew resistance, infectious backgrounds (1978–2021)

Сорт	Годы изучения на инфекционных фонах	Год включения в Госреестр	Бурая ржавчина, оценки		Мучнистая роса, оценки	
			min...max, %		min...max, балл	
Новинка 2	1978–2017	1971	30–40...50–60*		1,5...2,5	
Новинка 3	1983–2011	1982	40–50...60–80		2...2,5	
Новинка 4	1986–2021	1993	5–10...30–40		1...1,5	
Новинка 5	1991–2018	1994	10–15...50–60		1,5...2,5	
Дончанка	1993–2021	1995	15–20...50–60		01...1	
Донской янтарь	1991–2021	1997	5–10...30–40		01–1...1,5	
Жемчужина Дона	1993–2020	2003	10–15...20–30		01...1,5–2	
Топаз	1997–2020	2005	0–5...15–20		01–1...1,5	
Гелиос	1997–2017	2006	5–10...20–30		01...2,5	
Терра	2000–2021	2007	0–5...10–15		01...1	
Аксинит	2000–2021	2008	0–5...10–15		01...1,5	
Курант	2004–2021	2009	0–5...5–10		01...1–1,5	
Амазонка	2004–2021	2009	0–5...10–15		01...1	
Агат донской	2006–2021	2012	5–10...15–20		01...01–1	
Кристалла	2006–2021	2013	5–10...15–20		1...1,5	
Лазурит	2007–2021	2014	0–5...10–15		01...01–1	
Оникс	2008–2021	2015	0–5...5–10		01...1	
Диона	2008–2021	2016	5–10...10–15		01...1	
Днепряна (восприимчивый к бурой ржавчине)	2015–2021	–	50–60...100		–	
Алтана (восприимчивый к мучнистой росе)	2015–2021	–	–		2,5...3	

*Минимальное и максимальное поражение сорта в испытываемые годы, отличные по климатическим условиям.

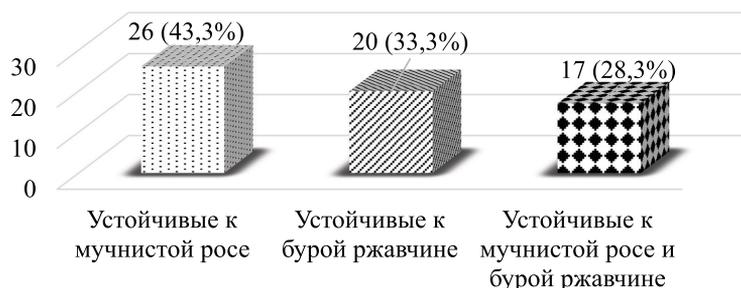
За годы исследования одновременно с ростом продуктивности и качественными показателями макарон селективируемых сортов изучалась их устойчивость к возбудителям бурой ржавчины и мучнистой росы.

Приведена последовательность повышения устойчивости сортов озимой твердой пшеницы за годы исследований. В различные годы для поэтапного формирования устойчивости созданных сортов к бурой ржавчине привлекались сорта озимой твердой пшеницы из мировой коллекции ВИР: Харьковская 1, Кристалл 2, Коралл одесский, Дельта одесская и др. Источниками и донорами устойчивости к мучнистой росе были также сорта украинской селекции: Парус, Айсберг одесский, Алый парус, Жемчужина одесская, Белый парус и др. Использование ступенчатых скрещиваний в сочетании с индивидуальным отбором позволило селекционерам ФГБНУ «АНЦ «Донской» постепенно создавать собственный исходный материал, устойчивый к болезням, который сохранялся и широко применялся в дальнейших

селекционных программах (Самофалова и др., 2015).

В последние годы селекционерами отдела озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» созданы и переданы в Госсортоиспытание РФ ряд новых высокопродуктивных сортов с улучшенными хозяйственными признаками растений и технологическими свойствами зерна. К ним относятся сорта озимой твердой пшеницы с устойчивостью к изученным болезням: Эйрена (включен в Госреестр – 2017), Яхонт (2018), Юбилярка (2019), Янтарина (2020), Улада (2021), Динас (2022), Лакомка (2022) и др.

В результате иммунологической оценки 63 сортов озимой твердой пшеницы было выявлено 20 сортов, или 33,3%, проявивших устойчивость к бурой ржавчине. Это сорта, которые в очень благоприятные для развития болезни годы имели оценку 10–15%, иногда 20%, в остальные годы их поражение не превышало 5% или фиксировались единичные пустулы (следы) (см. рисунок).



Доля устойчивых к болезням сортов озимой твердой пшеницы при искусственном заражении (2015–2021 гг.)
Proportion of the disease resistant winter durum wheat varieties under artificial infection (2015–2021)

Необходимо отметить, что озимая твердая пшеница по качественному проявлению бурой ржавчины обычно имеет устойчивый тип реакции – 1–2, т.е., согласно шкале, это мелкие и очень мелкие пустулы с некрозами. В 70–90-е годы прошлого столетия для большей части сортов, создаваемых в то время, характерен данный тип реакции на внедрение патогена. В связи с тем, что для повышения морозостойкости и других полезных признаков в программах по скрещиванию селекционеры стали привлекать сорта озимой мягкой пшеницы (Мудрова и др., 2001), у современных сортов озимой твердой пшеницы наблюдаются устойчивые, восприимчивые (3) и смешанные типы реакции на одном растении или сорте. Пораженность сорта до 20% мелкими пустулами с некрозами классифицировалась как устойчивость.

Высокой устойчивостью к бурой ржавчине характеризуются сорта отечественной селекции: Одари, Синьора (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»), Живица (ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»); зарубежной: Золотое руно (Украина, СГИ), Харьковская 32 (Украина, Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН) и др.

На устойчивость к мучнистой росе сорта испытывали на инфекционном фоне от 2 до 7 лет. В благоприятные для проявления мучнистой росы годы незначительная часть сортов имели оценку до 1 или 1,5 балла, но в основном поражение составляло 01 балла или единичные пятна в нижнем ярусе (оценка «следы»). Устойчивость к этому патогену проявили 26 сортов, или 43,3%, из них из России: Прикумчанка (01...1), Цитрина (01–1) (ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»), Соло (сл...1), Круча (01...1–1,5) (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»), Белгородская янтарная (01...1) (ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН») и сорта Украины: Алый парус (01...1–1,5), Дельта одесская (сл...01–1), Партенит (01...1) (СГИ), Титан (01...1–1,5) (Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН).

Несомненный интерес в качестве источников для селекции представляют сорта с групповой устойчивостью к двум возбудителям листовых болезней. Таковых из 63 изученных выявлено 17. Часть этих сортов длительное время находится в распоряжении селекционеров, которые широко используют их в гибридизации. Это сорта, которые находятся в изучении с 2015 г.: Тур, Атолл, Архипелаг, Кермен, Круча и др. (табл. 3).

Таблица 3. Сорты озимой твердой пшеницы с групповой устойчивостью, инфекционные фоны (2015–2021 гг.)
Table 3. Winter durum wheat varieties with group resistance, infectious backgrounds (2015–2021)

Сорт	Происхождение	Годы испытаний	Бурая ржавчина, % (min...max)	Мучнистая роса, балл (min...max)
Тур	Украина	2015–2021	Сл*...5–10	01...1,5
Атолл	Украина	2015–2021	0–5...10–15	01...1
Дельфин	Украина	2015–2021	Сл...15–20	Сл...1,5
Посейдон	Украина	2015–2021	Сл...10–15	01...1,5
Каравелла	Украина	2015–2021	0–5...15–20	01...1,5
Акведук	Украина	2017–2021	5–10...15–20	01–1...1,5
Архипелаг	Украина	2015–2021	0–5...15–20	01...1,5
Лагуна	Украина	2015–2021	Сл...10–15	Сл...1,5
Континент	Украина	2015–2021	Сл...5–10	01...1,5
Бурштин	Украина	2015–2021	0–5...20–30	Сл...1,5
Кассиопея	Украина	2018–2021	0–5...15–20	01...1,5
Добряна	Украина	2019–2021	Сл...0–5	01...1
Крупинка	Россия	2015–2021	Сл...10–15	01...1,5
Кермен	Россия	2015–2021	Сл...10–15	01...01–1
Круча	Россия	2015–2021	0–5...20–30	01...1–1,5
Афина	Украина	2017–2021	Сл...10–15	Сл...1
Прибуткова	Украина	2018–2021	Сл...10–15	01...1,5
Восприимчивый сорт	–	2015–2021	50–60...100	2,5...3,5

*Сл – следы, единичные пустулы или инфекционные пятна.

Выявленный устойчивый материал востребован селекционерами при создании сортов озимой твердой пшеницы, устойчивых и толерантных к мучнистой росе и бурой ржавчине.

Выводы. Установлено при передаче сортов озимой твердой пшеницы донскими селекционерами в Госсортоиспытание, что уровень устойчивости к болезням за последние 40–50 лет непрерывно возрастает. Созданные в последние годы сорта обладают высокой

устойчивостью к двум болезням. Из 63 изученных сортов МС 26 проявили устойчивость к мучнистой росе, 20 – к бурой ржавчине и 17 – к обоим патогенам. Лучшими источниками по групповой устойчивости к болезням являются сорта: Тур, Атолл, Дельфин, Кассиопея, Добряна, Афина, Прибуткова (Украина), Круча (Россия) и др. Выделенные источники устойчивости рекомендуются для дальнейшего использования в селекции озимой твердой пшеницы.

Библиографические ссылки

1. Васильчук Н.С. Селекция яровой твердой пшеницы. Саратов, 2001. 124 с.
2. Гулятьева Е.И., Солодухина О.В. Ржавчинные болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Под. ред. Е.Е. Радченко. М.: Россельхозакадемия, 2008. С. 5–30.
3. Мудрова А.А., Костин В.В. Селекция озимой твердой пшеницы на адаптивность и изменение сортов в результате селекционной работы // В кн. «Пшеница и тритикале». Краснодар: «Советская Кубань», 2001. С. 118–134.
4. Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Дубинина О.А., Макарова Т.С., Костыленко О.А., Каменева А.С., Дерова Т.Г., Кравченко Н.С. История развития селекционных работ по созданию озимой твердой пшеницы: итоги, проблемы, перспективы // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6(72). С. 10–18. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-10-18.
5. Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Лещенко М.А., Дубинина О.А., Кравченко Н.С., Дерова Т.Г. Состояние и задачи селекции твердой озимой пшеницы в изменяющихся условиях климата // Аграрный вестник Урала. 2015. № 12(142). С. 18–23.
6. Mishra A.N., Shirsekar G.S., Yadav S., Kaushal K., Dubey V.G., Sai Prasad S.V. Sources of resistance to Indian pathotypes of *Puccinia graminis tritici* and *P. triticea* in durum wheat // Plant Breeding. 2015. V. 134(5). P. 508–513. DOI: 10.1111/pbr.12295.
7. Simeone R., Piarulli L., Nigro D., Signorile M.A., Blanco E., Mangini G., Blanco A. Mapping Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) Resistance in Wild and Cultivated Tetraploid Wheats // International Journal of Molecular Sciences. 2020. V. 21(21). P. 7910. DOI:10.3390/ijms21217910.
8. Aoun M., Rouse M.N., Kolmer J.A., Kumar A., Elias E.M. Genome-Wide Association Studies Reveal All-Stage Rust Resistance Loci in Elite Durum Wheat Genotypes // Frontiers in Plant Science. 2021. V. 12. P. 1–20. DOI: 10.3389/fpls.2021.640739.

References

1. Vasil'chuk N.S. Seleksiya yarovoi tvrdoj pshenitsy [Spring durum wheat breeding]. Saratov, 2001. 124 s.

2. Gul'tyaeva E.I., Solodukhina O.V. Rzhavchinnye bolezni zernovykh kul'tur [Rust diseases of grain crops // The study of grain crop genetic resources for resistance to harmful organisms] // *Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoychivosti k vrednym organizmam*. Pod. red. E.E. Radchenko. M.: Rossel'khozakademiya, 2008. S. 5–30.

4. Mudrova A.A., Kostin V.V. Seleksiya ozimoi tverdoi pshenitsy na adaptivnost' i izmeneniye sortov v rezul'tate selektsionnoi raboty [Winter durum wheat breeding on adaptability and variety change as a result of breeding work] // *V kn. «Pshenitsa i tritikale»*. Krasnodar: «Sovetskaya Kuban'», 2001. S. 118–134.

5. Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Dubinina O.A., Makarova T.S., Kostylenko O.A., Kameneva A.S., Derova T.G., Kravchenko N.S. Istoriya razvitiya selektsionnykh rabot po sozdaniyu ozimoi tverdoi pshenitsy: itogi, problemy, perspektivy [The history of the breeding work on winter durum wheat development: results, problems, prospects] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 6(72). S. 10–18. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-10-18.

6. Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Leshchenko M.A., Dubinina O.A., Kravchenko N.S., Derova T.G. Sostoyaniye i zadachi selektsii tverdoi ozimoi pshenitsy v izmenyayushchikhsya usloviyakh klimata [State and issues of winter durum wheat breeding under changing climate conditions] // *Agrarnyi vestnik Urals*. 2015. № 12(142). S. 18–23.

7. Mishra A.N., Shirsekar G.S., Yadav S., Kaushal K., Dubey V.G., Sai Prasad S.V. Sources of resistance to Indian pathotypes of *Puccinia graminis tritici* and *P. triticina* in durum wheat // *Plant Breeding*. 2015. V. 134(5). P. 508–513. DOI: 10.1111/pbr.12295.

8. Simeone R., Piarulli L., Nigro D., Signorile M.A., Blanco E., Mangini G., Blanco A. Mapping Powdery Mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) Resistance in Wild and Cultivated Tetraploid Wheats // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. V. 21(21). P. 7910. DOI: 10.3390/ijms21217910.

9. Aoun M., Rouse M.N., Kolmer J.A., Kumar A., Elias E.M. Genome-Wide Association Studies Reveal All-Stage Rust Resistance Loci in Elite Durum Wheat Genotypes // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 12. P. 1–20. DOI: 10.3389/fpls.2021.640739.

Поступила: 07.02.22; доработана после рецензирования: 24.03.22; принята к публикации: 25.03.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Дерова Т.Г., Шишкин Н.В., Самофалова Н.Е. – концептуализация исследования; Дерова Т.Г., Кононенко О.С. – подготовка опыта; Шишкин Н.В., Дерова Т.Г. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Дерова Т.Г., Кононенко О.С., Самофалова Н.Е. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.