
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
Т. 16, № 4. 2024 год

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

Калинина Н. В. – главный редактор (Зерноград, Россия);
Ковтунова Н. А. – зам. главного редактора, канд. с.-х. наук (Зерноград, Россия);
Лобунская И. А. – тех. секретарь (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Баталова Г. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (Киров, Россия);
Беспалова Л. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Волкова Г. В. – чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, ФГБНУ «ФНЦБЗР» (Краснодар, Россия);
Гончаренко А. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Давлетов Ф. А. – д-р с.-х. наук, Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия);
Долженко В. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);
Дубина Е. В. – д-р биол. наук, проф. РАН, ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодар, Россия);
Зезин Н. Н. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);
Клыков А. Г. – академик РАН, д-р биол. наук, проф. РАН,
ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» (Уссурийск, Россия);
Костылев П. И. – д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Лобачевский Я. П. – академик РАН, д-р техн. наук, проф. РАН (Москва, Россия);
Лукомец В. М. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);
Медведев А. М. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Пахомов В. И. – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, доцент, ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Сандухадзе Б. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В. С. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);
Упадышев М. Т. – чл. корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Москва, Россия);
Шевченко С. Н. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «Самарский ФИЦ РАН» (Самара, Россия).

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Урбан Э. П. – член-корр. НАН Беларуси, д-р с.-х. наук, профессор,
РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (Жодино, Республика Беларусь);
Усенбеков Б. Н. – канд. биол. наук, проф., РГП «Институт биологии и биотехнологии растений»
(Алматы, Республика Казахстан);
Халил Сурек – д-р наук, Тракийский аграрный НИИ (Эдирне, Турция);
Юсупов Г. Ю. – канд. с.-х. наук, Министерство сельского хозяйства и охраны окружающей среды 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 4.1. Агронимия, лесное и водное хозяйство). 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 – Скуйбедин О. Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.

Тел.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.08.2024

Дата выхода 28.08.2024. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №

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

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL
GRAIN ECONOMY OF RUSSIA
Vol. 16, No 4. 2024

The founder and publisher 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.

Kalinina N. V. – chief editor (Zernograd, Russia);
Kovtunova N. A. – deputy chief editor, Candidate of Agricultural Sciences (Zernograd, Russia);
Lobunskaya I. A. – technical secretary (Zernograd, Russia).

EDITORIAL BOARD:

- Batalova G. A.**, Federal Agricultural Research Center of the East named N. V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, 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., All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology), corresponding member of RAS
(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);
Dubina E. V., Federal Scientific Rice Centre – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);
Zezev N. N., Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Ekaterinburg, Russia);
Klykov A. G., Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika – Dr. Sci. (Biology),
professor of RAS, academician of RAS (Ussuriysk, Russia);
Kostylev P. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Agriculture), professor (Zernograd, Russia);
Lobachevsky Ya. P., Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor of RAS, academician of RAS
(Moscow, Russia);
Lukomets V. M., Federal Scientific Center "V. S. Pustovoi 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), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pakhomov V. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Technology), docent, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Upadyshev M. T., Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture),
professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);
Shevchenko S. N., Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture),
academician 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), professor, corresponding member of NAS (Zhodino, The Republic of Belarus);
Usenbekov B. N., Institute of Plant biology and biotechnology – Cand. Sci. (Biology), professor, (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 4.1. Agronomy, forestry, water economy). 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 street, 3.

Tel.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.08.2024

The date of the issue is 28.08.2024. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н. З., Хусаинова И. И., Гайфуллина Г. Р., Тазутдинова М. Р., Кириллова Е. С., Хайруллина А. Р., Идиатова Р. Х., Саубанова Г. Р., Аскарлова А. А. Характеристика перспективных линий яровой шарозерной пшеницы (<i>Triticum sphaerococcum</i> Percival) по урожайности и показателям качества зерна	5
Кривошеев С. И., Емельянова А. А., Логвинова Е. В. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по комплексу показателей адаптивности в условиях Курской области	12
Муругова Г. А., Клыков А. Г. Оценка урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя в условиях муссонного климата	17
Радченко Л. А., Аверченко Т. Л., Марченко Д. М. Оценка показателей продуктивности новых сортов озимой пшеницы в условиях степного Крыма	24
Самарина М. А., Ульянов Д. С., Мохов Т. Д., Меглицкая Я. С., Крупин П. Ю., Карлов Г. И., Харченко П. Н., Воронов С. И., Давыдова Н. В., Дивашук М. Г. Отбор молекулярных маркеров для генетической паспортизации <i>Triticum aestivum</i>	33
Лобунская И. А., Газе В. Л., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Подгорный С. В., Зеленская Г. М. Пигменты хлорофилла и урожайность озимой мягкой пшеницы при различных водных режимах	41
Бондаренко Е. В., Лапочкина И. Ф., Пишенин И. А., Макарова И. Ю., Яшина Н. А., Смирнова А. С., Казакова Е. А., Блинова Я. А., Празян А. А., Волкова П. Ю. Влияние гамма-облучения женского гаметофита в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы на разрастание завязей при скрещивании с кукурузой	50
Филенко Г. А., Донцова А. А., Скворцова Ю. Г. Оценка производства и мониторинг сортового состава высеянных семян озимого ячменя в Ростовской области	60
Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г., Шаболкина Е. Н., Пронович Л. В. Дифференцирующая способность условий среды и оценка сортов яровой пшеницы твердой по числу падения	67
Иванисов М. М., Марченко Д. М., Рыбась И. А., Кирин А. В. Новые сорта озимой пшеницы для жестких предшественников селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»	75
Крохмаль А. В., Гординская Е. А., Барулина Н. И. Урожайность и параметры адаптивности тритикале на зеленый корм в условиях степной зоны Ростовской области	81
Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В., Соболев С. В., Молодовский Я. С. Модель сорта озимой мягкой пшеницы для условий Центрального Нечерноземья	90
Кадушкина В. П., Фоменко М. А., Коваленко С. А., Бирюкова О. В. Параметры адаптивности и показатели качества яровой твердой пшеницы в степной зоне Ростовской области	97
Горбачева А. Г., Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Орлянская Н. А. Экологическое изучение простых стерильных гибридов кукурузы – родительских форм	105

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N. Z., Khusainova I. I., Gaifullina G. R., Tazutdinova M. R., Kirillova E. S., Khairullina A. R., Idiatova R. Kh., Saubanova G. R., Askarova A. A. Characteristics of promising lines of spring sphaerococcum wheat (<i>Triticum sphaerococcum</i> Percival) according to productivity and grain quality indicators	5
Krivosheev S. I., Emeljanova A. A., Logvinova E. V. Characteristics of winter common wheat varieties according to a set of adaptability indicators in the Kursk region	12
Murugova G. A., Klykov A. G. Evaluation of productivity and grain quality of spring barley varieties under monsoon climate conditions	17
Radchenko L. A., Averchenko T. L., Marchenko D. M. Estimation of productivity indicators of new winter wheat varieties in the steppe Crimea	24
Samarina M. A., Uliyanov D. S., Mokhov T. D., Metlitskaya Ya. S., Krupin P. Yu., Karlov G. I., Kharchenko P. N., Voronov S. I., Davydova N. V., Divashuk M. G. Selection of molecular markers for genetic certification of <i>Triticum aestivum</i>	33
Lobunskaya I. A., Gaze V. L., Cherpakova E. Yu., Yanovskaya N. V., Podgorny S. V., Zelenskaya G. M. Chlorophyll pigments and winter common wheat productivity under different water regimes	41
Bondarenko E. V., Lapochkina I. F., Pishenin I. A., Makarova I. Yu., Yashina N. A., Smirnova A. S., Kazakova E. A., Blinova Ya. A., Prazyan A. A., Volkova P. Yu. Gamma irradiation effect of female gametophyte in emasculated spring bread wheat plants on ovaries' growth when crossed with maize	50
Fileiko G. A., Dontsova A. A., Skvortsova Yu. G. Estimation of production and monitoring of a varietal composition of the sown winter barley seeds in the Rostov region	60
Malchikov P. N., Myasnikova M. G., Shabolkina E. N., Pronovich L. V. Differentiating ability of environmental conditions and estimation of spring durum wheat varieties according to 'falling number'	67
Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Rybas' I. A., Kirin A. V. New winter wheat varieties for rigid forecrops developed by the FSBSI "ARC "Donskoy"	75
Krokhmal' A. V., Gordinskaya E. A., Barulina N. I. Productivity and adaptability parameters of triticale for green feed in the steppe part of the Rostov region	81
Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V., Sobolev S. V., Molodovsky Ya. S. A winter common wheat variety model for the Central NON-Blackearth region	90
Kadushkina V. P., Fomenko M. A., Kovalenko S. A., Biryukova O. V. Adaptability parameters and quality indicators of spring durum wheat in the steppe part of the Rostov region	97
Gorbacheva A. G., Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S., Orlyanskaya N. A. Ecological study of parental forms of simple sterile maize hybrids	105

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.111.3:631.524.7

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-5-11

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ШАРОЗЕРНОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM SPHAEROCOCCUM PERCIVAL*) ПО УРОЖАЙНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

Данил Ф. Асхадуллин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2601-6735;

Дамир Ф. Асхадуллин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-2717-7178;

Н. З. Василова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-1135-486x;

И. И. Хусаинова, научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-0369-6221;

Г. Р. Гайфуллина, научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-0942-8321;

М. Р. Тазутдинова, научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-4753-7644;

Е. С. Кириллова, научный сотрудник отдела аналитических исследований ORCID ID: 0000-0003-2006-5525;

А. Р. Хайруллина, научный сотрудник отдела аналитических исследований ORCID ID: 0000-0002-3207-566X;

Р. Х. Идиатова, научный сотрудник отдела аналитических исследований ORCID ID: 0000-0002-5328-6941;

Г. Р. Саубанова, младший научный сотрудник отдела аналитических исследований ORCID ID: 0000-0002-2896-9855;

А. А. Аскарова, младший научный сотрудник отдела аналитических исследований ORCID ID: 0000-0003-0364-9780

Татарский НИИСХ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, 420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, д. 48

Проведена оценка перспективных линий яровой пшеницы вида *Triticum sphaerococcum* (пшеница шарозерная, *T.sph*) в 2022–2023 гг. в конкурсном сортоиспытании в условиях Татарстана в сравнении с сортом шарозерной пшеницы Сакара и сортом мягкой пшеницы Йолдыз (стандарт Госсорткомиссии). Перспективные линии уступают по урожайности стандартному сорту яровой мягкой пшеницы Йолдыз на 23–31 %. Урожайность этих линий в 2022 г. достоверно не отличалась от урожайности сорта шарозерной пшеницы Сакара и составила 3,27–3,89 т/га. В 2023 г. достоверно выше по сравнению с сортом Сакара была урожайность у линии Sh-359-11-8-2 – на 0,56 т/га и линии Sh-15-15-28 – на 0,31 т/га. Созданные линии *T.sph* имеют высокое содержание белка и клейковины в зерне. Содержание белка в зерне составило в среднем от 16,2 (у линии Sh-15-15-13) до 19,2 % (у линии Sh-15-15-12), содержание клейковины – от 30,2 (у линии Sh-15-15-13) до 33,5 % (у линии Sh-15-15-28), что соответствует нормам сильной пшеницы. Линии *T.sph* имеют высокую натуру зерна – 805–813 г/л, что достоверно выше, чем у сорта Сакара. У линии Sh-359-11-8-2 масса 1000 зерен составляет 35,8 г, что на уровне сорта мягкой пшеницы Йолдыз, другие линии уступают по массе 1000 зерен сорту Йолдыз на 3,7–11,6 г. Максимальную выравненность зерна имеет линия Sh-15-15-28 – 95,9 %, что достоверно выше, чем у сорта Йолдыз и Сакара, на 10,4 и 12,6 % соответственно. Линии *T.sph* существенно различаются по реологическим свойствам теста. Сила муки варьировала от 95 е.а. у линии Sh-15-15-12 до 300 е.а. у линии Sh-359-11-8-2, степень разжижения теста – от 26 е.ф. у линии Sh-359-11-8-2 до 113 е.ф. у линии Sh-15-15-13. По показателям содержания белка и клейковины, разжижения и упругости теста, отношения P/L линия Sh-359-11-8-2 соответствует классификационным нормам отличного улучшителя. Общая хлебопекарная оценка линий *T.sph* составила 4,25–4,74 балла, выпекаемый хлеб имеет хорошее качество.

Ключевые слова: *Triticum sphaerococcum*, урожайность, качество, селекционная линия, реология.

Для цитирования: Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н. З., Хусаинова И. И., Гайфуллина Г. Р., Тазутдинова М. Р., Кириллова Е. С., Хайруллина А. Р., Идиатова Р. Х., Саубанова Г. Р., Аскарова А. А. Характеристика перспективных линий яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum Percival*) по урожайности и показателям качества зерна // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-5-11.



CHARACTERISTICS OF PROMISING LINES OF SPRING SPHAEROCOCCUM WHEAT (*TRITICUM SPHAEROCOCCUM PERCIVAL*) ACCORDING TO PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY INDICATORS

Danil F. Askhadullin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring wheat breeding, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2601-6735;

Damir F. Askhadullin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-2717-7178;

N. Z. Vasilova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring wheat breeding, ORCID ID: 0000-0003-1135-486x;

I. I. Khusainova, researcher of the laboratory for spring wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-0369-6221;

G. R. Gaifullina, researcher of the laboratory for spring wheat breeding, ORCID ID: 0000-0003-0942-8321;

M. R. Tazutdinova, researcher of the laboratory for spring wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-4753-7644;

E. S. Kirillova, researcher of the analytical research department, ORCID ID: 0000-0003-2006-5525;

A. R. Khairullina, researcher of the analytical research department, ORCID ID: 0000-0002-3207-566X;

R. Kh. Idiatova, researcher of the analytical research department, ORCID ID: 0000-0002-5328-6941;

G. R. Saubanova, junior researcher of the analytical research department, ORCID ID: 0000-0002-2896-9855;

A. A. Askarova, junior researcher of the analytical research department, ORCID ID: 0000-0003-0364-9780

Tatarsky Research Institute of Agriculture, separate structural unit of the FRC KazRC of RAS, 420059, Kazan, Orenburgsky Trakt Str., 48

There has been carried out an estimation of promising spring wheat lines of the species *Triticum sphaerococcum* (sphaerococcum wheat, *T.sph*) in a competitive variety testing in Tatarstan in 2022–2023, in comparison with the sphaerococcum wheat variety 'Sakara' and the common wheat variety 'Yoldyz' (standard of the State Variety Commission). Productivity of the promising lines was inferior to the standard spring common wheat variety 'Yoldyz' by 23–31 %. The productivity of these lines in 2022 did not differ significantly from the sphaerococcum wheat variety 'Sakara' and amounted to 3.27...3.89 t/ha. In 2023, productivity of the lines 'Sh-359-11-8-2' and 'Sh-15-15-28' was significantly higher compared to the variety 'Sakara' by 0.56 t/ha and by 0.31 t/ha, respectively. The developed lines *T.sph* have a high protein and gluten percentage in grain. The protein percentage in grain averaged from 16.2 % for the line 'Sh-15-15-13' to 19.2 % for the line 'Sh-15-15-12', gluten percentage in grain ranged from 30.2 % for the line 'Sh-15-15-13' to 33.5 % for the line 'Sh-15-15-28', which corresponds to the standards of "strong wheat". The lines *T.sph* have a large grain size of 805–813 g/l, which is significantly higher than that of the variety 'Sakara'. The line 'Sh-359-11-8-2' has 1000-grain weight of 35.8 g, at the level of the common wheat variety 'Yoldyz', other lines are inferior in 1000-grain weight to the variety 'Yoldyz' by 3.7...11.6 g. The line 'Sh-15-15-28' has the maximum grain uniformity of 95.9 %, which is significantly higher than that of the varieties 'Yoldyz' and 'Sakara' by 10.4 and 12.6 %, respectively. The lines *T.sph* differ significantly according to the rheological properties of the dough. The flour strength varied from 95 u.a. of the line 'Sh-15-15-12' to 300 u.a. of the line 'Sh-359-11-8-2', the degree of dough dilution was from 26 u.f. of the line 'Sh-359-11-8-2' to 113 u.f. of the line 'Sh-15-15-13'. According to protein and gluten percentage, dough dilution and resilience, and P/L ratio, the line 'Sh-359-11-8-2' meets the classification standards of "excellent improver." The general baking assessment for the lines *T.sph* was 4.25–4.74 points, and the baked bread was of good quality.

Keywords: *Triticum sphaerococcum*, productivity, quality, breeding line, rheology.

Введение. Шарозерная пшеница (син. Индийская карликовая пшеница) *Triticum sphaerococcum* Perc. – гексаплоидный вид пшеницы, имеющий легкообрушаемые зерновки сферической формы, плотный непонижающийся колос, короткую соломинку, что обусловлено плейотропным эффектом единственного гена *s1*. Шарозерная пшеница считается древнейшей злаковой культурой. Последним крупным очагом возделывания шарозерной пшеницы был полуостров Индостан, для которого эта пшеница является эндемиком, но к 2011 г. группой исследователей из Японии и Индии (Mori et al., 2013) был обнаружен лишь единичный посев в индийском штате Карнатака. Сегодня это реликтовая культура в данном регионе.

Отличительной особенностью шарозерной пшеницы является превосходное качество зерна и муки (Gupta et al., 2021, Askhadullin et al., 2021).

Широкой селекционной работой с видом *T. sphaerococcum* в России и за рубежом занимается малое число научных учреждений из-за сложности селекционного улучшения и внедрения в производство. Наибольших успехов достигли селекционеры Национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко (Краснодар), создавшие серию сортов озимой шарозерной пшеницы на основе шарозерного рекомбинантного мутанта (Беспалова и др., 2015). В Татарском НИИСХ также ведется широкая селекционная работа с яровой шарозерной пшеницей, при этом при создании сортов используют эндемичные для Индостана образцы вида *T. sphaerococcum*. Создан сорт яровой шарозерной пшеницы Сакара и перспективные линии, обладающие положительными чертами вида. Целью нашего исследования являлась оценка перспективных линий яровой шарозерной пшеницы по урожайности и показателям ка-

чества зерна в сравнении с сортом мягкой пшеницы Йолдыз и сортом шарозерной пшеницы Сакара.

Материалы и методы исследований.

Полевые испытания линий яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum* Perc.) проводили в 2022–2023 гг. в границах земледелия ТатНИИСХ, расположенного в Лаишевском районе Республики Татарстан. Почвы серые лесные средне гумусированные слабокислые – нейтральные, содержание подвижных форм фосфора высокое – очень высокое, калия повышенное – среднее, щелочногидролизруемого азота – высокое.

Объектами исследования были перспективные линии конкурсного сортоиспытания яровой шарозерной пшеницы, созданные в ТатНИИСХ. В качестве стандартов использовали сорта яровой шарозерной пшеницы Сакара и яровой мягкой пшеницы Йолдыз (стандарт Госсортокомиссии в Республике Татарстан). Конкурсное сортоиспытание было заложено в четырехкратной повторности, размещение вариантов систематическое с шахматным расположением повторений. Площадь учетной деленки 20 м².

Особенностью метеоусловий в период вегетации 2022 г. были пониженные температуры и обилие осадков в мае (ГТК = 3,31), неравномерные дожди в течение лета, а также малое количество солнечных дней в июне и начале июля; в 2023 г. отмечались ливневые дожди

в первой декаде мая: после посева и до появления всходов выпало 60 мм осадков при норме 12 мм, ГТК в июне составил 0,14, выпало лишь 7 мм осадков, что составило 11,3 % от нормы, далее условия вегетации складывались по значениям, близким к среднемноголетним.

Анализ качества зерна и муки проводили в лаборатории аналитических исследований ТатНИИСХ. Оценка содержания белка в зерне – по ГОСТ 10846-91, количество и качество клейковины – по ГОСТ 54478-2011; технологическую оценку – по ГОСТ 10840-2017, ГОСТ 10987-76, ГОСТ 30483-97; водопоглощение и реологические свойства теста – по ГОСТ ISO 5530-1-2013, ГОСТ Р 51415-99 (ISO 5530-4-91); выравненность зерна – ситовым анализом по величине остатков на ситах 2,2+2,5 мм согласно методическим указаниям ОГУ (Волошин, 2019); пробную лабораторную выпечку – по ГОСТ 27669-88; балльную оценку качества хлеба – по методическим рекомендациям ОрелГТУ (Корячкина и др., 2010).

Статистическую обработку результатов провели в программе Excel на основании Методики полевого опыта (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Превосходство мягкой пшеницы по продуктивности над шарозерной показано в ряде работ (Романов и др., 2023; Gaikwad et al., 2023). Нами также не получено линий шарозерной пшеницы, которые достигают урожайности стандартного сорта мягкой пшеницы Йолдыз (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность линий и сортов пшеницы в сортоиспытании
Table 1. Productivity of wheat lines and varieties in the variety testing

Образец	2022 г		2023 г		Средняя, т/га	– к Йолдыз, %
	т/га	+/- к Сакара	т/га	+/- к Сакара		
<i>T. sphaerococcum</i>						
Sh-358-11-7-2	3,86	0,07	2,13	-0,46	3,00	-31
Sh-359-11-8-2	3,27	-0,52	3,15	0,56	3,21	-27
Sh-15-15-12	3,89	0,10	2,49	-0,10	3,19	-27
Sh-15-15-13	3,76	-0,03	2,60	0,01	3,18	-27
Sh-15-15-28	3,85	0,06	2,90	0,31	3,38	-23
Сакара	3,79	–	2,59	–	3,19	-27
<i>T. aestivum</i>						
Йолдыз	4,75	0,96	3,98	1,39	4,37	–
НСР ₀₅	–	0,69	–	0,25	–	–

Урожайность перспективных линий шарозерной пшеницы по средним значениям за 2022–2023 гг. была на 23–31 % ниже, чем сорта Йолдыз. По результатам испытания в 2022 г. все представленные линии шарозерной пшеницы имели урожайность, достоверно не отличающуюся от урожайности сорта шарозерной пшеницы Сакара, минимальная урожайность отмечалась у линии Sh-359-11-8-2 – 3,27 т/га,

максимальная – у линии Sh-15-15-12 – 3,89 т/га. В 2023 г. достоверно превосходили по урожайности сорт Сакара линия Sh-359-11-8-2 – на 0,56 т/га и линия Sh-15-15-28 – на 0,31 т/га.

Так как основным преимуществом шарозерных пшениц является высокое качество зерна, созданные линии были проанализированы по показателям качества зерна и муки (табл. 2).

Таблица 2. Качество зерна линий и сортов пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 2. Grain quality of wheat lines and varieties (2022–2023)

Линия/сорт	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Качество клейковины, ИДК-1, е.п.	
			2022 г.	2023 г.
Sh-358-11-7-2	16,9	31,6	91	85
Sh-359-11-8-2	17,9	33,4	87	67

Продолжение табл. 2

Линия/сорт	Содержание белка, %	Содержание сырой клейковины, %	Качество клейковины, ИДК-1, е.п.	
			2022 г.	2023 г.
Sh-15-15-12	19,2	30,4	101	81
Sh-15-15-13	16,2	30,2	96	68
Sh-15-15-28	16,3	33,5	89	76
Сакара	17,2	33,2	73	61
Йолдыз	13,5	22,8	93	67
НСП ₀₅	2,5	6,1	–	–

Среднее содержание белка было от 16,2 % у линии Sh-15-15-13 до 19,2 % у линии Sh-15-15-12, что достоверно выше, чем у сорта мягкой пшеницы Йолдыз, на 2,8–5,7 %. Среднее содержание сырой клейковины в зерне – от 30,2 % у линии Sh-15-15-13 до 33,4 % у линии Sh-359-11-8-2, что достоверно выше, чем у сорта мягкой пшеницы Йолдыз, на 7,4–0,6 %. По содержанию белка и клейковины в зерне все линии шарозерной пшеницы достоверно не отличаются от сорта Сакара и соответствуют

по хлебопекарным качествам на основе классификационных норм Госсорткомиссии хорошему и отличному улучшителю. Клейковина по качеству на основании значений ИДК (ГОСТ 54478-2011) у линий Sh-358-11-7-2 и Sh-15-15-12 характеризовалась как удовлетворительно слабая в оба года изучения (ИДК более 78).

Натура и стекловидность зерна являются важными показателями, предъявляемыми к качеству зерна (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика технологических свойств зерна линий и сортов пшеницы
Table 3. Characteristics of technological grain properties of wheat lines and varieties

Линия/сорт	Натура, г/л	Общая стекловидность, %	Масса 1000 зерен, г	Выравненность, %
Sh-358-11-7-2	813	72	26,2	74,8
Sh-359-11-8-2	811	57	35,8	94,9
Sh-15-15-12	811	58	34,1	94,2
Sh-15-15-13	807	58	34,1	95,0
Sh-15-15-28	805	60	32,2	95,9
Сакара	796	58	27,0	85,5
Йолдыз	802	62	37,8	83,3
НСП ₀₅	9	6	3,4	9,3

Линии шарозерной пшеницы высоконатурные (805–813 г/л) и не уступают по этому показателю сорту мягкой пшеницы Йолдыз. Достоверно выше, чем у сорта Сакара, натура зерна у всех линий шарозерной пшеницы – от 9 до 17 г/л. У линий Sh-358-11-7-2 и Sh-15-15-28 стекловидность более 60 % и соответствует классификационным нормам Госсорткомиссии сильной пшеницы; у первой из них стекловидность зерна составила 72 %, что достоверно выше, чем у сорта Йолдыз. Мелкозерность, присущая виду *T. Sphaerococcum*, сохраняется у большинства линий, только у линии Sh-359-11-8-2 мас-

са 1000 зерен составила 35,8 г, что достоверно не отличается от показателей сорта Йолдыз. Масса 1000 зерен перспективных линий шарозерной пшеницы, кроме линии Sh-358-11-7-2, достоверно выше, чем у сорта Сакара, на 5,2–8,8 г. Выравненность зерна линий Sh-359-11-8-2, Sh-15-15-13, Sh-15-15-28 достоверно выше, чем у сорта Йолдыз и Сакара, и составила соответственно 94,9, 95,0 и 95,9 %.

Классическими стандартными приборами для выявления реологических свойств теста являются альвеограф и фаринограф. Показания альвеографа приведены в таблице 4.

Таблица 4. Реологические свойства теста на альвеографе линий и сортов пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 4. Rheological properties of dough made of wheat lines and varieties on the alveograph (2022–2023)

Образец	Энергия деформации теста, е.а.	Упругость теста (P), мм	Растяжимость теста (L), мм	Отношение P/L
Sh-358-11-7-2	191	73	86	0,84
Sh-359-11-8-2	300	109	76	1,50
Sh-15-15-12	95	50	83	0,62
Sh-15-15-13	132	54	96	0,56
Sh-15-15-28	105	56	75	0,76
Сакара	329	109	64	1,74
Йолдыз	197	89	66	1,41
НСП ₀₅	83	39	45	0,91

У перспективных линий шарозерной пшеницы средние показатели альвеографа изменялись в следующих пределах: энергия деформации теста (сила муки) – 95–300 е.а., упругость теста – 50–109 мм, отношения P/L – 0,56–1,50, то есть имели сильные различия, при этом только линия Sh-359-11-8-2 из всех представленных образцов по хлебопекарным качествам по всем показателям альвеографа соответствует сильной пшенице. У образца Sh-15-15-12 значения показателей силы муки и упругости теста соответствуют слабой пшенице. Низкое хлебопекарное качество по показателям альвеографа

отдельных образцов шарозерной пшеницы согласуется с данными Adhikari S. с соавт., которые изучили 34 образца *T. sphaerococcum* национального генного банка Индии и установили существенную вариабельность показателей качества зерна, кроме того, SDS-седиментация составила 24–38 мл, что характерно для удовлетворительной по качеству пшеницы (Adhikari et al., 2023).

Фаринограф регистрирует изменение консистенции теста в процессе плавного замеса при постоянной температуре, данные прибора приведены в таблице 5.

Таблица 5. Реологические свойства теста на фаринографе линий и сортов пшеницы (2022–2023 гг.)

Table 5. Rheological properties of dough made of wheat lines and varieties on the farinograph (2022–2023)

Образец	ВПС, %	Время образования теста, мин	Устойчивость теста, мин	Степень разжижения теста, е.ф.	Валориметрическая оценка, е.в.
Sh-358-11-7-2	59,1	3,6	6,4	65	54
Sh-359-11-8-2	60,3	4,9	16,4	26	65
Sh-15-15-12	57,1	2,2	2,7	109	43
Sh-15-15-13	57,6	2,3	3,3	113	20
Sh-15-15-28	60,4	2,7	2,8	95	48
Сакара	58,3	2,2	более 20	24	61
Йолдыз	57,7	1,5	3,8	81	46
НСР ₀₅	1,5	–	7,5	42	21

Оценка реологических свойств теста, проводимая на фаринографе, имеет важное значение не только в оценке хлебопекарных свойств муки, но и целевого ее использования. Наибольшим водопоглощением муки (ВПС) характеризовались линии Sh-359-11-8-2 (60,3 %) и Sh-15-15-28 (60,4%), у которых оно достоверно выше, чем у сорта мягкой пшеницы Йолдыз. Степень разжижения теста у линии Sh-359-11-8-2 составила 16,4 мин, что достоверно выше, чем у других линий шарозерной и сортов мягкой пшеницы, однако по обобщающему показателю «валориметрическая оценка» линия Sh-359-11-8-2 соответствуют по хлебопекарным качествам только ценной пшенице (65 е.в.). На основании класси-

фикации силы муки по фаринографу (Don and Vosk, 2022) линию Sh-358-11-7-2 целесообразно использовать для изготовления лепешек типа чапати и питы, кроме того, данная линия белозерная, что наиболее предпочтительно для изготовления чапати. Линию Sh-15-15-12 использовать для изготовления лапши, линию Sh-359-11-8-2 – для всех видов хлеба и макарон.

Определение хлебопекарных свойств муки путем пробной лабораторной выпечки по ГОСТ 27669-88 показало, что все изученные образцы по объемному выходу хлеба, несмотря на существенные различия в реологических свойствах теста, соответствуют по ГОСТ 34702-2020 сильной пшенице (табл. 6).

Таблица 6. Хлебопекарная оценка линий и сортов пшеницы (2022–2023 гг.)

Table 6. Baking assessment of wheat lines and varieties (2022–2023)

Образец	Объемный выход хлеба, см ³ /100 г муки	Общая хлебопекарная оценка, балл	Формоустойчивость, балл	Вкус хлеба, балл	Пористость, балл	Внешний вид, балл
Sh-358-11-7-2	539	4,74	0,67	5,0	4,9	4,7
Sh-359-11-8-2	558	4,67	0,65	5,0	4,5	4,4
Sh-15-15-12	533	4,25	0,55	4,5	4,0	3,9
Sh-15-15-13	545	4,52	0,65	4,5	4,5	4,6
Sh-15-15-28	581	4,61	0,64	4,7	4,6	4,3
Сакара	510	4,59	0,73	5,0	4,6	4,6
Йолдыз	512	4,49	0,69	4,7	4,7	4,4
sd*	24	0,16	0,05	0,2	0,3	0,3

Примечание. *sd – стандартное отклонение.

Лучшей общей хлебопекарной оценкой характеризуется линия Sh-358-11-7-2, у которой отмечаются хорошие органолептические ха-

рактеристики хлеба (вкус хлеба – 5,0 балла, пористость – 4,9 балла, внешний вид – 4,7 балла) и формоустойчивость – 0,67 балла. Наибольший

выход хлеба отмечался у линии Sh-15-15-28 – 581 г/л, что выше, чем у сорта Сакара и сорта Йолдыз, на 71 и 69 см³/100 г муки соответственно. Из зерна всех линий шарозерной пшеницы можно выпекать хлеб хорошего качества.

Выводы. Перспективные линии шарозерной пшеницы уступают по урожайности стандартному сорту яровой мягкой пшеницы Йолдыз на 23–31 %. Линии шарозерной пшеницы имеют высокое содержание белка в зерне – 16,2–19,2 % и клейковины – 30,2–33,5 %, что достоверно не отличается от сорта Сакара и выше, чем у сорта Йолдыз, на 2,8–5,7 % и 7,4–10,6 % соответственно. Зерно линий шарозерной пшеницы имеет высокую натуру

(805–813 г/л) при невысокой массе 1000 зерен – от 26,2 г у линии Sh-358-11-7-2 до 35,8 г у линии Sh-359-11-8-2. Линии шарозерной пшеницы существенно различаются по реологическим свойствам теста: сила муки – от 95 е.а. у линии Sh-15-15-12 до 300 е.а. у линии Sh-359-11-8-2, степень разжижения теста – от 26 е.ф. у линии Sh-359-11-8-2 до 113 е.ф. у линии Sh-15-15-13.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта «Создание селекционно-ценных генотипов яровой шарозерной пшеницы» и Государственного задания Татарского НИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН.

Библиографические ссылки

1. Беспалова Л. А., Боровик А. Н., Колесников Ф. А., Мирошниченко Т. Ю. Этапы и результаты селекции шарозерной пшеницы (*T. sphaerococcum* Perc.) в Краснодарском НИИСХ им. П. П. Лукьяненко (Часть 1) // Зерновое хозяйство России. 2015. № 30(2). С. 85–93.
2. Волошин, Е. В. Зерновое хозяйство. Качественная оценка зерна: методические указания. Оренбург: ОГУ, 2019. Ч. 2. 72 с.
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 352 с.
4. Корячкина С. Я., Березина Н. А., Хмелева Е. В. Методы исследования качества хлебобулочных изделий. Орел: ОрелГТУ, 2010. 166 с.
5. Романов Б. В., Козлов А. А., Парамонов А. В., Сорокина И. Ю. Сравнительный анализ продукционных признаков озимых сортов шарозерной и мягкой пшениц // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 1(45). С. 82–88. DOI: 10.24412/2309-348X2023-1-82-88
6. Adhikari S., Kumari J., Bhardwaj R., Jacob S., Langyan S., Sharma S., Singh M. A., Kumar A. Unlocking the potential of ancient hexaploid Indian dwarf wheat, *Triticum sphaerococcum* for grain quality improvement // PeerJ. 2023. Vol. 11, Article number: e15334. DOI: 10.7717/peerj.15334
7. Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Vasilova N. Z., Lysenko N.S. Prospects of creating Indian dwarf wheat varieties *Triticum sphaerococcum* Perciv. based on samples endemic to the Hindustan peninsula // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2021. Vol. 81, Iss. 3. P. 381–391. DOI: 10.31742/IJGPB.81.3.5
8. Don C., Bock J. E. The Farinograph Handbook. Advances in Technology, Science and Applications. Cambridge: Elsevier Science, 2022. 270 p.
9. Gaikwad K. B., Dawar A., Singh A., Babu P., Kumar M., Kumar N., Yadav R. Trait phenotyping in an ancient Indian landrace of wheat *Triticum sphaerococcum* under optimum, terminal heat stress and deficit irrigation conditions // Genetic Resources and Crop Evolution. 2024. Vol. 71(6), P. 2779–2795. DOI: 10.1007/s10722-023-01817-z
10. Gupta P. K., Balyan H. S., Sharma S., Kumar R. Biofortification and bioavailability of Zn, Fe and Se in wheat: present status and future prospects // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134, P. 1–35. DOI: 10.1007/s00122-020-03709-7
11. Mori N., Ohta S., Chiba H., Takagi T., Niimi Y., Shinde V., Kajale M. D., Osada T. Rediscovery of Indian dwarf wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *sphaerococcum* (Perc.) MK.) an ancient crop of the Indian subcontinent // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, Iss. 6. P. 1771–1775. DOI: 10.1007/s10722-013-9994-z

References

1. Беспалова Л. А., Боровик А. Н., Колесников Ф. А., Мирошниченко Т. Ю. Этапы и результаты селекции шарозерной пшеницы (*T. sphaerococcum* Perc.) в Краснодарском НИИСХ им. П. П. Лукьяненко (Часть 1) [Stages and results of breeding of *sphaerococcum triticales* (*T. sphaerococcum* Perc.) at the Krasnodar RIA named after P.P. Lukyanenko (Part 1)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 30(2). S. 85–93.
2. Voloshin, E. V. Zernovedenie. Kachestvennaya otsenka zerna: metodicheskie ukazaniya [Qualitative estimation of grain: methodical recommendations]. Orenburg: OGU, 2019. Ch. 2. 72 s.
3. 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.: Al'yans, 2014. 352 s.
4. Koryachkina S. Ya., Berезина N. A., Khmeleva E. V. Metody issledovaniya kachestva khlebobulochnykh izdelii [Methods for studying the quality of bakery products]. Orel: OrelGTU, 2010. 166 s.
5. Romanov B. V., Kozlov A. A., Paramonov A. V., Sorokina I. Yu. Sravnitel'nyi analiz produktsionnykh priznakov ozimyykh sortov sharozernoi i myagkoi pshenits [Comparative analysis of production traits of winter *sphaerococcum* and common wheat varieties] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2023. № 1(45). S. 82–88. DOI: 10.24412/2309-348X2023-1-82-88
6. Adhikari S., Kumari J., Bhardwaj R., Jacob S., Langyan S., Sharma S., Singh M. A., Kumar A. Unlocking the potential of ancient hexaploid Indian dwarf wheat, *Triticum sphaerococcum* for grain quality improvement // PeerJ. 2023. Vol. 11, Article number: e15334. DOI: 10.7717/peerj.15334

7. Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Vasilova N. Z., Lysenko N.S. Prospects of creating Indian dwarf wheat varieties *Triticum sphaerococcum* Perciv. based on samples endemic to the Hindustan peninsula // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2021. Vol. 81, Iss. 3. P. 381–391. DOI: 10.31742/IJGPB.81.3.5
8. Don C., Bock J. E. The Farinograph Handbook. Advances in Technology, Science and Applications. Cambridge: Elsevier Science, 2022. 270 p.
9. Gaikwad K. B., Dawar A., Singh A., Babu P., Kumar M., Kumar N., Yadav R. Trait phenotyping in an ancient Indian landrace of wheat *Triticum sphaerococcum* under optimum, terminal heat stress and deficit irrigation conditions // Genetic Resources and Crop Evolution. 2024. Vol. 71(6), P. 2779–2795. DOI: 10.1007/s10722-023-01817-z
10. Gupta P. K., Balyan H. S., Sharma S., Kumar R. Biofortification and bioavailability of Zn, Fe and Se in wheat: present status and future prospects // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134, P. 1–35. DOI: 10.1007/s00122-020-03709-7
11. Mori N., Ohta S., Chiba H. Takagi T., Niimi Y., Shinde V., Kajale M. D., Osada T. Rediscovery of Indian dwarf wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *sphaerococcum* (Perc.) MK.) an ancient crop of the Indian subcontinent // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, Iss. 6. R. 1771–1775. DOI: 10.1007/s10722-013-9994-z

Поступила: 02.04.24; доработана после рецензирования: 06.06.24; принята к публикации: 24.06.24.

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 данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Василова Н. З. – анализ и сбор данных; Тазутдинова М. Р., Хусаинова И. И., Гайфуллина Г. Р. – подготовка опыта, сбор данных; Кириллова Е. С., Хайруллина А. Р., Идиатова И. Х., Саубанова Г. Р., Аскарлова А. А. – анализ зерна.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КОМПЛЕКСУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

С. И. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства, e.logv1nova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1226-5693;

А. А. Емельянова, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-0610-3591;

Е. В. Логвинова, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства, e.logv1nova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0422-6176

ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»,
305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б; e-mail: kurskfarc@mail.ru

В статье изложены результаты экологического испытания различных сортов озимой мягкой пшеницы за 2018–2020 гг. и приведена оценка их урожайности. Целью исследований являлась оценка сортов озимой мягкой пшеницы различного географического происхождения по комплексу показателей адаптивности в почвенно-климатических условиях Курской области для использования в качестве исходного материала при создании новых адаптированных и высокопродуктивных сортов. Материалом для исследований являлись 16 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»: Губернатор Дона, Богема, Донмира и Октава 15, ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко»: Юка, Гром, Веха, Сварог, Ахмат и Доля, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»: Вольный Дон, Краса Дона, Донская степь, Вольница и Этьюд. Стандартом был сорт Льговская 4 селекции Льговской опытно-селекционной станции филиала ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова». Индекс условий среды сложился по-разному. Неблагоприятные условия для формирования урожая наблюдались в 2019 г. ($I_j = -1,01$). Благоприятными были условия в 2018 году ($I_j = 0,28$) и 2020 году ($I_j = 0,74$). На основании проведенных исследований выделились сорта озимой пшеницы Веха и Ахмат, имеющие максимальную урожайность в опыте 7,49 и 7,67 т/га, высокую генетическую гибкость $(Y_{min} + Y_{max})/2 = 7,54$ и $7,97$ и индекс экологической пластичности ИЭП = 1,16 и 1,17. Сорт Донская степь характеризуется высокой стабильностью урожайности ($S^2d = 0,003$; $Cv = 1,47\%$; $Hom = 418,89$; ПУСС = 613,0) и стрессоустойчивостью ($Y_{min} - Y_{max} = -0,22$). Рекомендуется использовать выделившиеся генотипы в селекции на высокую продуктивность и адаптированность сортов.

Ключевые слова: сорт, озимая мягкая пшеница, урожайность, показатели экологической адаптивности.

Для цитирования: Кривошеев С. И., Емельянова А. А., Логвинова Е. В. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по комплексу показателей адаптивности в условиях Курской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 12–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-12-16.



CHARACTERISTICS OF WINTER COMMON WHEAT VARIETIES ACCORDING TO A SET OF ADAPTABILITY INDICATORS IN THE KURSK REGION

S. I. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production, e.logv1nova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1226-5693;

A. A. Emeliyanova, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-0610-3591;

E. V. Logvinova, researcher of the laboratory for breeding and seed production, e.logv1nova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0422-6176

FSBSI "Kursk Federal Agrarian Research Center",
305021, Kursk, Karl Marks Str., 70b; e-mail: kurskfarc@mail.ru

The current paper has presented the results of environmental testing of various winter common wheat varieties in 2018–2020 and given an estimation of their productivity. The purpose of the study was to evaluate winter common wheat varieties of different geographical origin according to a set of adaptability indicators in the soil and climatic conditions of the Kursk region to use them as initial material for the development of new adapted and highly productive varieties. The material for the research was 16 winter common wheat varieties among which the varieties 'Gubernator Dona', 'Bogema', 'Donmira' and 'Oktava 15' developed by the FSBSI "Federal Rostov Agrarian Research Center"; the varieties 'Yuka', 'Grom', 'Vekha', 'Svarog', 'Akhmat' and 'Dolya' developed by the FSBSI "National Grain Center named after P. P. Lukyanenko"; the varieties 'Volny Don', 'Krasa Dona', 'Donskaya Step', 'Volnitsa' and 'Etyud' developed by the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy". The standard was the variety 'Lgovskaya 4' developed by the Lgov experimental breeding station of the branch of the FSBSI "ARRISS named after A. L. Mazlumov". The index of environmental conditions developed differently. There were unfavorable conditions for yield formation in 2019 ($I_j = -1,01$), and favorable ones in 2018 ($I_j = 0,28$) and 2020 ($I_j = 0,74$). According to the conducted study, the winter wheat varieties 'Vekha' and 'Akhmat' were of maximum experimental productivity with 7.49 and 7.67 t/ha, had high genetic flexibility $(Y_{min} + Y_{max})/2 = 7.54$ and 7.97 , and the indices of environmental adaptability IEA were 1.16 and 1.17. The variety 'Donskaya Step' is characterized by high yield stability ($S^2d = 0.003$; $Cv = 1.47\%$; $Hom = 418.89$;

PUSS = 613.0) and stress resistance ($Y_{min} - Y_{max} = -0.22$). It can be recommended to use the isolated genotypes in breeding for high productivity and adaptability of varieties.

Keywords: variety, winter common wheat, productivity, indicators of environmental adaptability.

Введение. Использование высокопродуктивных экологически пластичных сортов играет важную роль в повышении стабильности урожайности и качества зерна (Грязнова, 2019).

В экологическом испытании сортов оценивается их адаптивный потенциал с применением различных статистических методов. Важными показателями адаптивности сорта являются его экологическая пластичность и стабильность. В основе этих признаков лежит оценка особенностей сортов по эффектам взаимодействия генотип – среда (Рыбась, 2016; Kendal, 2019). Управление эффектами взаимодействия генотип – среда через агротехнологические и генетико-селекционные мероприятия способствует существенному повышению урожайности (Драговцев и Якушев, 2015).

В качестве исходного материала в селекционной работе следует использовать адаптированные к местным условиям сорта с высокими вкладами систем адаптивности и эффектов реакции в формировании урожайности (Новохатин и др., 2022).

Целью исследований – оценка сортов озимой мягкой пшеницы различного географического происхождения по комплексу показателей адаптивности в почвенно-климатических условиях Курской области для использования в качестве исходного материала при создании новых адаптированных и высокопродуктивных сортов.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в конкурсном сортоиспытании на полях научного севооборота лаборатории селекции и семеноводства ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в 2018–2020 годах. Объектом исследований стали сорта озимой мягкой пшеницы: селекции ФГБНУ «Федерального Ростовского аграрного научного центра» – Губернатор Дона, Богема, Донмира и Октава 15; ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» – Юка, Гром, Веха, Сворог, Ахмат и Доля; ФГБНУ «Донской АНЦ» – Вольный Дон, Краса Дона, Донская степь, Вольница и Этюд. Стандартный сорт – Львовская 4 селекции Львовской ОСС филиала ФГБНУ «ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова».

Предшественник чистый пар. Посев проводили порционной сеялкой СКС-6-10 на деланках площадью 10 м², повторность шести-

кратная. Норма высева – 5 млн всхожих семян на 1 га. Исследования выполняли согласно «Методике Государственного сортоиспытания» (2019). Уборку проводили при достижении полной спелости зерна комбайном «Сампо-130».

Экологическую пластичность (b_i) и стабильность (S^2d) сортов рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) в изложении В. А. Зыкина (2005). Стрессоустойчивость сорта ($Y_{min} - Y_{max}$) и компенсаторную способность ($(Y_{min} + Y_{max})/2$) определяли по А. А. Rossielle, J. Hemblin в описании А. А. Гончаренко (2005).

Коэффициент отзывчивости (K_p) определяли по методу В. А. Зыкина (2005), индекс экологической пластичности (ИЭП) – по А. А. Грязнову (Грязнов, 2019), гомеостатичность (Hom) – по методике В. В. Хангильдина (Хангильдин и Литвиненко, 1981), показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) – по методике Э. Д. Неттевич (Сандухадзе и др., 2018), коэффициент вариации (C_v) – по Б. А. Доспехову (2014).

Метеоусловия вегетационных сезонов озимой пшеницы существенно различались по месяцам и годам исследований. В 2017–2018 гг. вегетация озимой пшеницы протекала в условиях повышенного температурного режима и недостатка влагообеспеченности ($ГТК = 0,86$). В 2018–2019 гг. засушливыми были апрель и июнь, дождливым и теплым – май, холодным – июль. В целом вегетационный сезон являлся неблагоприятным для формирования высокого урожая озимой пшеницы ($ГТК = 0,79$).

Погодные условия в 2019–2020 гг. сложились благоприятные для роста и развития озимой пшеницы ($ГТК = 1,08$). Но в апреле и мае 2020 г. растения вегетировали при высоком содержании влаги в почве и пониженных температурах, что привело к развитию грибных заболеваний. В большей степени от них пострадали сорта Юка, Вольница и Этюд, что в свою очередь привело к снижению урожайности.

Результаты и их обсуждение. Средняя урожайность сортов озимой мягкой пшеницы изменялась от 5,85 т/га у сорта Этюд до 7,67 т/га у сорта Ахмат. В большей степени урожайность варьировала по годам исследований – от 4,26 т/га у сорта Богема в 2019 г. до 9,29 т/га у сорта Ахмат в 2020 г. (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы и показатели их экологической адаптивности
Table 1. Productivity of winter common wheat varieties and indicators of their environmental adaptability

Сорт	Урожайность, т/га				Коэффициенты*		
	2018	2019	2020	Средняя	b_i	S^2d	K_p
Львовская 4, st	7,08	5,63	7,11	6,61	0,95	0,08	1,26
Губернатор Дона	5,88	5,42	7,33	6,21	0,97	0,56	1,35
Богема	6,18	4,26	9,00	6,48	2,48	1,52	2,11
Донмира	6,92	4,99	7,25	6,39	1,38	0,05	1,45
Октава 15	7,18	4,85	7,62	6,55	1,67	0,06	1,57

Продолжение табл. 1

Сорт	Урожайность, т/га				Коэффициенты*		
	2018	2019	2020	Средняя	b_i	S^2d	Кр.
Юка	7,12	5,91	6,77	6,60	0,63	0,21	1,20
Гром	7,17	5,98	7,30	6,82	0,83	0,03	1,22
Вежа	7,41	6,95	8,12	7,49	0,65	0,10	1,17
Сварог	7,23	5,60	7,27	6,70	1,06	0,13	1,30
Ахмат	7,07	6,65	9,29	7,67	1,30	1,34	1,40
Доля	6,95	5,40	7,33	6,56	1,17	0,005	1,36
Вольный Дон	6,25	5,28	6,53	6,02	0,76	0,004	1,24
Краса Дона	6,73	5,26	6,91	6,30	1,02	0,04	1,31
Донская степь	6,14	6,03	6,25	6,14	0,15	0,003	1,04
Вольница	7,09	5,56	5,90	6,18	0,45	0,96	1,28
Этюд	6,58	4,57	6,39	5,85	1,19	0,85	1,44
Средние – X_i	6,81	5,52	7,27	6,53	–	–	–
НСР ₀₅	0,30	0,24	0,36	0,53	–	–	–
Индекс среды I_j	0,28	-1,01	0,74	–	–	–	–

Примечание. * – коэффициенты: b_i – коэффициент линейной регрессии; S^2d – коэффициент стабильности; Кр. – коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды.

Выяснено, что наиболее урожайными сортами в среднем за 2018–2020 гг. были сорта озимой пшеницы селекции «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»: Вежа (7,49 т/га) и Ахмат (7,67 т/га), где прибавка по сравнению с контролем Льговская 4 (6,61 т/га) составила 0,88 и 1,06 т/га соответственно. Средняя урожайность по сортам ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» составила 6,97 т/га, по сортам ФРАНЦ – 6,41 т/га, по сортам «Донской АНЦ» – 6,40 т/га.

Индекс условий среды сложился следующим образом. Неблагоприятные условия для формирования урожая наблюдались в 2019 г., где $I_j = -1,01$. Благоприятными были условия 2018 г. ($I_j = 0,28$) и особенно 2020 г. ($I_j = 0,74$).

Коэффициент линейной регрессии (b_i) урожайности показывает отзывчивость сортов на изменение условий выращивания. Большой отзывчивостью обладали сорта Сварог, Доля, Этюд, Ахмат, Донмира, Октава 15 с $b_i = 1,06–1,67$ и особенно Богема, где коэффициент экологической пластичности составил 2,48.

В изучаемом наборе образцов $b_j < 1$ имели сорта Вольница, Юка, Вежа, Вольный Дон, Гром с $b_i = 0,45–0,83$ и выделялся сорт Донская степь с $b_i = 0,15$. Урожайность в этой группе сортов значительно меньше реагировала на изменение условий выращивания, чем в группе с $b_i > 1$.

Сорта Льговская 4, Губернатор Дона и Краса Дона имели $b_i = 0,95–1,02$, что близко к единице, и, следовательно, изменение урожайности соответствовало изменению условий выращивания.

Экологическая стабильность сорта показывает, что чем ниже в числовом эквиваленте оказывается показатель сорта, тем он стабильнее себя ведет в тех или иных условиях. Самым стабильным был сорт Донская степь ($S^2d = 0,003$), а также сорта Вольный Дон,

Доля, Гром, Краса Дона, Донмира, Октава 15, Льговская 4 ($S^2d = 0,004–0,08$).

Менее стабильными сортами являлись Этюд, Вольница, Ахмат и Богема ($S^2d = 0,85–1,52$).

Коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды (Кр.) по методу В. А. Зыкина (Филиппов и др., 2022) показывает, как сильно отличается урожайность сорта, выращенного в благоприятных условиях, от урожайности этого же сорта, полученного в неблагоприятных условиях. Наибольший коэффициент отзывчивости получен у сорта Богема (Кр. = 2,11) и Октава 15 (Кр. = 1,57), слабо реагировали сорта Вежа, Юка, Гром (Кр. = 1,17–1,22) и Донская степь (Кр. = 1,04).

Устойчивость сортов к стрессу является важным показателем адаптивности и экологической пластичности. Стрессоустойчивость тем выше, чем меньше разница между минимальной и максимальной урожайностью, то есть шире диапазон приспособительных возможностей сорта (Сапега и др., 2012). Высокой стрессоустойчивостью характеризовались сорта «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»: Вежа, Юка и Гром ($Y_{min} - Y_{max} = -1,17–1,32$), сорт Вольный Дон (-1,25), но лидером являлся сорт Донская степь, оригинатор: «АНЦ Донской» (-0,22). Невысокая устойчивость к стрессу определена у сортов Донмира, Ахмат, Октава 15: соответственно -2,26; -2,64; -2,77, и особенно у сорта Богема (-4,74) (табл. 2).

В контрастных условиях среды важна генетическая гибкость сорта, его компенсаторная способность, показателем которой является средняя урожайность в стрессовых и нестрессовых условиях (Сапега и Турсумбекова, 2020). Более высокие параметры показателя определены у сортов Богема, Гром, Вежа и Ахмат ($(Y_{min} + Y_{max})/2 = 6,63–7,97$), а минимальные – у сортов Этюд, Вольный Дон и Краса Дона ($(Y_{min} + Y_{max})/2 = 5,58–6,09$).

Таблица 2. Показатели адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы по урожайности зерна
Table 2. Indicators of adaptability of winter common wheat varieties according to grain productivity

Сорт	(Ymin – Ymax)	(Ymin + Ymax)/2	Cv,%	Ном	ИЭП	ПУСС,%
Львовская 4, st	-1,48	6,37	10,44	63,33	1,01	100,0
Губернатор Дона	-1,91	6,38	13,05	47,61	0,95	75,2
Богема	-4,74	6,63	30,10	21,54	0,97	33,3
Донмира	-2,26	6,12	15,56	41,25	0,97	62,7
Октава 15	-2,77	6,24	16,03	40,86	0,93	64,0
Юка	-1,21	6,52	7,73	85,42	1,02	134,7
Гром	-1,32	6,64	8,73	78,84	1,05	127,3
Вежа	-1,17	7,54	6,42	116,88	1,16	208,8
Сварог	-1,67	6,44	11,57	58,30	1,03	92,7
Ахмат	-2,64	7,97	15,13	50,72	1,17	92,9
Доля	-1,93	6,37	12,73	51,86	1,00	80,8
Вольный Дон	-1,25	5,91	15,12	39,83	0,93	62,2
Краса Дона	-1,65	6,09	11,75	53,64	0,96	80,7
Донская степь	-0,22	6,14	1,47	418,89	0,95	613,0
Вольница	-1,53	6,33	10,62	57,87	0,95	86,0
Этюд	-2,01	5,58	15,49	46,86	0,89	52,8

Стабильная урожайность зерна свидетельствует о высокой, а вариабельность, наоборот о низкой гомеостатичности генотипа при одних и тех же лимитирующих факторах внешней среды. Сочетание гомеостатичности и коэффициента вариации показывает устойчивость признака в изменяющихся условиях среды, то есть стабильность (Рыбась и др., 2018).

Стабильными являлись сорта селекции «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» с низким коэффициентом вариации и высокой гомеостатичностью Вежа (Cv = 6,42 %, Ном = 116,88), Юка (Cv = 7,73 %, Ном = 85,42), Гром (Cv = 8,73 %, Ном = 78,84) и сорт селекции АНЦ «Донской» Донская степь (Cv = 1,47 %, Ном = 418,89). Сорт селекции ФРАНЦ Богема отметился высоким коэффициентом вариации (Cv = 30,1 %) и низкой гомеостатичностью (Ном = 21,54), то есть обладал высокой изменчивостью. Средней изменчивостью и низкой гомеостатичностью отличались сорта Октава 15 (Cv = 16,03, Ном = 40,86), Донмира (Cv = 15,56, Ном = 41,25), Этюд (Cv = 15,49, Ном = 46,86).

Индекс экологической пластичности (ИЭП) позволяет оценить пластичность сорта (Грязнов, 2019). При ИЭП > 1 сорта характеризуются как пластичные. К таким сортам отно-

сились Львовская 4, st, Юка, Сварог, Гром, Вежа и Ахмат (ИЭП = 1,01–1,17).

Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) характеризует одновременно уровень и стабильность урожайности по отношению к стандарту. Высоким показателем уровня стабильности отмечены сорта Гром, Юка, Вежа и Донская степь (ПУСС = 127,3–613,0 %). Низкий ПУСС у сортов Богема, Этюд, Вольный Дон и Донмира (33,3–62,7 %).

Выводы. На основании проведенных в 2018–2020 гг. исследований 16 сортов озимой мягкой пшеницы различного географического происхождения по комплексу показателей адаптивности в почвенно-климатических условиях Курской области выделились сорта Вежа и Ахмат, имеющие максимальную урожайность в опыте 7,49 и 7,67 т/га, высокую генетическую гибкость (Ymin + Ymax)/2 = 7,54 и 7,97 и индекс экологической пластичности ИЭП = 1,16 и 1,17 соответственно. Сорт Донская степь характеризуется высокой стабильностью урожайности (S²d = 0,003, Cv = 1,47 %, Ном = 418,89, ПУСС = 613,0) и стрессоустойчивостью (Ymin – Ymax = -0,22).

Рекомендуется использовать выделившиеся генотипы в селекции на высокую продуктивность и адаптированность сортов.

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). 6-е изд., перераб. и доп., стереотип. М.: Альянс, 2014. 352 с.
3. Драгавцев В. А., Якушев В. П. Инновационные технологии селекции растений на повышение продуктивности и урожая // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 3(54). С. 130–137.
4. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В., Драгавцева В. А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной селекции в Северном Зауралье) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus
5. Рыбась, И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. № 51(5). С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus
6. Рыбась И. А., Марченко Д. М., Некрасов Е. И., Иванисов М. М., Гричаникова Т. А., Романюкина И. В. Оценка параметров адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 51–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54

7. Сандухадзе Б. И., Марченкова Л. А., Мамедов Р. З., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Бугрова В. В. Изучение адаптивности сортов озимой пшеницы на фоне искусственно создаваемых стрессов // Инновационные разработки по селекции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Междунар. науч. конф., приуроченной к 90-летию со дня рождения академии Э. Д. Неттевича // М.: ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка», 2018. С. 109–114.
8. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш., Сапега С. В. Урожайность и параметры стабильности сортов зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 10. С. 22–26.
9. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(2). С. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
10. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцов Д. П. Анализ показателей адаптивности сортов и линий ярового ячменя в экологическом сортоиспытании // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4(32). С. 221–230.
11. Kendal, E. Comparind durum wheatcultivars bydenotypexyildxtrit and denotypextritbiplot method // Chilean journal of agricultural research. 2019. Vol. 79(4), P. 512–522. DOI: 10.4067/S0718-58392019000400512

References

1. Gryaznov A. A. Yachmen' golozernyi [A hulles 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)]. 6-e izd., pererab. i dop., stereotip. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
3. Dragavtsev V. A., Yakushev V. P. Innovatsionnye tekhnologii seleksii rastenii na povyshenie produktivnosti i urozhaya [Innovative plant breeding technologies to improve productivity and yield] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 3(54). S.130–137.
4. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtseva V. A. Novyi kompleksnyi podkhod k izucheniyu dinamiki povysheniya adaptivnosti gomostatichnosti u sortov myagkoi yarovoi pshenitsy (naprimere dlitel'noi seleksii v Severnom Zaural'e) [A new integrated approach to studying the dynamics of improving adaptability of homostaticity in spring common wheat varieties (on the example of long-term breeding in the Northern Trans-Urals)] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 1. S. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus
5. Rybas', I. A. Povyshenie adaptivnosti v seleksii zernovykh kul'tur [Improvement of adaptability in grain crop breeding] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2016. № 51(5). S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus
6. Rybas' I. A., Marchenko D. M., Nekrasov E. I., Ivanisov M. M., Grichanikova T. A., Romanyukina I. V. Otsenka parametrov adaptivnosti sortov ozimoi myagkoi pshenitsy [Estimation of adaptability parameters of winter common wheat varieties] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. №4(58). S. 51–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54
7. Sandukhadze B. I., Marchenkova L. A., Mamedov R. Z., Chavdar' R. F., Orlova T. G., Bugrova V. V. Izuchenie adaptivnosti sortov ozimoi pshenitsy na fone iskusstvenno sozdavaemykh stressov [The study of adaptability of winter wheat varieties against the background of artificially developed stresses] // Innovatsionnye razrabotki po seleksii i tekhnologii vozdelvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: mat. mezhd. nauch. konferentsii, priurochennoi k 90-letiyu so dnya rozhdeniya akademii E. D. Nettevicha // M.: FGBNU «FITs «Nemchinovka», 2018. S. 109–114.
8. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh., Sapega S. V. Urozhainost' i parametry stabil'nosti sortov zernovykh kul'tur [Productivity and stability parameters of grain varieties] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2012. № 10. S. 22–26.
9. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Urozhainost', ekologicheskaya plastichnost' i stabil'nost' sortov yarovoi myagkoi i tverdoi pshenitsy v yuzhnoi lesostepi Tyumenskoj oblasti [Productivity, ecological adaptability, and stability of spring common and durum wheat varieties in the southern forest-steppe of the Tyumen region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. № 21(2). S. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
10. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analiz pokazatelei adaptivnosti sortov i linii yarovogo yachmenya v ekologicheskom sortoispytanii [The analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the Environmental Variety Testing] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2022. № 4(32). S. 221–230.
11. Kendal, E. Comparind durum wheatcultivars bydenotypexyildxtrit and denotypekhtritbiplot method // Chilean journal of agricultural research. 2019. Vol. 79(4), P. 512–522. DOI: 10.4067/S0718-58392019000400512

Поступила: 23.03.24; доработана после рецензирования: 24.06.24; принята к публикации: 27.06.24.

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. Кривошеев С. И., Емельянова А. А., Логвинова Е. В. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, математическая и статистическая обработка и анализ данных, их интерпретация, написание статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ МУССОННОГО КЛИМАТА

Г. А. Муругова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции зерновых и крупяных культур, gal.murugova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4203-851X;
А. Г. Клыков, доктор биологических наук, академик РАН, заведующий отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, alex.klykov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2390-3486
ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологии Дальнего Востока им. А. К. Чайки», 692539, г. Уссурийск, п. Тимряевский, ул. Воложенина, д. 30; e-mail: fe.smc_rf@mail.ru

В статье представлена сравнительная оценка урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя в условиях Приморского края. Исследования проводили в 2019–2022 гг. в ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» в лаборатории селекции зерновых и крупяных культур. Объектами являлись 18 сортов ярового ячменя различного происхождения: Восточный, Приморский 89, Приморский 98, Тихоокеанский, Приморец, Приморский 100 – Приморский край; Мелиус, Крещендо, Деспина, Маргарет, Лаурите, Калькуль, Грейс, Чарльз, Саломе – Германия; Орлан, Медикум 157 – Самарская область и Булат – Ставропольский край. За годы исследований изученные сорта характеризовались широким диапазоном изменчивости по урожайности – от 2,0 до 6,7 т/га, в среднем 3,3–4,6 т/га. В результате исследований с максимальной урожайностью (4,6 т/га), высокой адаптивностью ($b_1 = 1,0$ и $S^2d_1 = 0,0$) и биохимическими показателями содержания (белка – 7,3 %, крахмала – 57,6 %) выделился сорт Грейс. В условиях муссонного климата Приморского края интерес для селекции на экологическую пластичность представляют сорта Приморец, Лаурите, Орлан, характеризующиеся стабильностью и отзывчивостью на улучшение условий произрастания. Сорта ярового ячменя Тихоокеанский и Маргарет целесообразно выращивать на экстенсивном фоне ($b_1 < 1,0$), где от них может быть получена наибольшая отдача при минимуме затрат. Один из важных показателей адаптивности сортов – экологическая устойчивость ($U_{\min} - U_{\max}$). Чем меньше разрыв между максимальной и минимальной урожайностями, тем выше стрессоустойчивость сорта и тем шире диапазон его приспособительных возможностей. Высокий уровень стрессоустойчивости (-0,7) отмечен у сорта Приморский 100 (Приморский край). Средняя урожайность сортов в контрастных (стрессовых и не стрессовых) условиях $(U_1 + U_2/2)$ характеризует их генетическую гибкость. Максимальное соотношение между генотипом и факторами среды отмечено у сорта Мелиус (Германия) – 4,8, также у него наибольший показатель гомеостатичности (Нот – 101).

Ключевые слова: яровой ячмень, сорт, экологическая пластичность, стабильность, урожайность, хозяйственно ценные признаки, биохимические показатели, пленчатость, крахмал.

Для цитирования: Муругова Г. А., Клыков А. Г. Оценка урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя в условиях муссонного климата // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 17–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-17-23.



EVALUATION OF PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF SPRING BARLEY VARIETIES UNDER MONSOON CLIMATE CONDITIONS

G. A. Murugova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding grain and groat crops, gal.murugova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4203-851X;
A. G. Klykov, Doctor of Biological Sciences, academician of RAS, head of the department of breeding and biotechnologies of grain crops, alex.klykov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2390-3486
FSBSI "Federal Research Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika", 692539, Russia, Primorsky Krai, Usuriysk, v. of Timiryazevsky, Volozhenin Str., 30; e-mail: fe.smc_rf@mail.ru

The current paper has presented a comparative evaluation of productivity and grain quality of spring barley varieties in the Primorsky Territory. The study was conducted at the FSBSI "FRC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika" in the laboratory for breeding grain and groat crops in 2019–2022. The objects were 18 spring barley varieties of various origins, such as 'Vostochny', 'Primorsky 89', 'Primorsky 98', 'Tikhookeansky', 'Primorets', 'Primorsky 100' developed in the Primorsky Krai; 'Melius', 'Kreshendo', 'Despina', 'Margaret', 'Laurite', 'Kal'kul', 'Greis', 'Charls', 'Salome' developed in Germany; 'Orlan', 'Medikum 157' develop in the Samara region and 'Bulat' developed in the Stavropol region. Over the years of study, the studied varieties were characterized by a wide range of yield variability from 2.0 to 6.7 t/ha, with an average of 3.3–4.6 t/ha. According to the study results the variety 'Greis' was the best with maximum productivity (4.6 t/ha), high adaptability ($b_1 = 1.0$ and $S^2d_1 = 0.0$) and biochemical indicators of protein and starch percentage (7.3 % and 57.6 % respectively). In the monsoon climate of the Primorsky Krai, the varieties 'Primorets', 'Laurite', 'Orlan' are of great interest for breeding for environmental adaptability, characterized by stability and responsiveness to improving growing conditions. The spring barley varieties 'Tikhookeansky' and 'Margaret' are better to be grown on an extensive background ($b_1 < 1.0$), where the greatest feedback can be obtained from them with a minimum of costs. One of the important indicators of varieties' adaptability is environmental sustainability ($U_{\min} - U_{\max}$). The smaller the gap between the maximum and minimum yields, the higher the stress resistance of the variety and the wider the range of its adaptive capabilities. A high level of stress resistance (-0.7) was identified in the variety 'Primorsky 100' (from the Primorsky Krai). The mean productivity of varieties under contrasting (stressful and non-stressful) conditions $(U_1 + U_2/2)$ means their genetic flexibility. The variety 'Melius' (from Germany)

was found to have maximum ratio between the genotype and environmental factors (4.8), and the highest homeostatic index ($Hom = 101$).

Keywords: spring barley, variety, environmental adaptability, stability, productivity, economically valuable traits, biochemical indicators, hoodness, starch.

Введение. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является важной сельскохозяйственной культурой, имеющей широкое применение в разных отраслях народного хозяйства. Ареал его распространения обусловлен многими ценными качествами, а также приспособленностью к различным почвенно-климатическим условиям (Miralles et al., 2021; Филиппов и др., 2021). Известно, что продуктивность сельскохозяйственных культур зависит от биологических особенностей сорта, условий выращивания и уровня адаптации растений к комплексу биотических и абиотических факторов окружающей среды (Якубышина, 2020).

Юг Дальнего Востока России характеризуется муссонным климатом с высокой влажностью воздуха, частыми туманами, способствующими усиленному развитию болезней зерновых культур, снижению качества зерна, устойчивости к полеганию (Murugova et al., 2019).

Несмотря на многие ценные качества и свойства районированных в Дальневосточном регионе сортов ярового ячменя, каждый из них обладает целым рядом существенных недостатков, которые необходимо улучшать путем целенаправленного и научно обоснованного ведения селекционного процесса. Поэтому одним из важнейших факторов увеличения производства зерна является внедрение новых высокопродуктивных сортов ярового ячменя, адаптированных к условиям муссонного климата (Murugova et al., 2019).

В связи с этим актуальной задачей в селекции сельскохозяйственных культур в регионе является повышение экологической стабильности сортов, их способности обеспечивать высокую и устойчивую урожайность в различных условиях произрастания.

Цель настоящей работы – оценка урожайности и качества зерна сортов ярового ячменя отечественного и зарубежного происхождения в условиях муссонного климата Приморского края.

Материалы и методы исследований. Работа выполнена в лаборатории селекции зерновых и крупяных культур ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» в 2019–2022 годах. Объект исследования – 18 сортов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения: ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, Приморский край – Восточный, Приморский 89, Приморский 98, Тихоокеанский Приморец, Приморский 100; Германия – Мелиус, Крешендо, Деспина, Маргарет, Лаурите, Калькуль, Грейс, Чарльз, Саломе; СамИЦ РАН, Самарская область – Орлан, Медикум 157; Прикумская опытно-селекционная станция, Ставропольский край – Булат.

В качестве стандарта был взят районированный сорт Восточный.

Площадь делянки 15 м², повторность 3-кратная, размещение систематическое. Норма высева – 5,5 млн всхожих зерен на га. Посев проводили сеялкой СКС 6-10. Уборку выполняли комбайном «Хеге-125». Фенологические наблюдения и учеты проводили по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019) и методическим указаниям по изучению коллекционных образцов (Лоскутов и др., 2012). В лабораторных условиях определяли белок (ГОСТ Р 51417-99), крахмал (ГОСТ 10845-98), массу 1000 зерен (ГОСТ 12042-80), пленчатость по Омарову, натуре зерна (ГОСТ 10840-2017). Адаптивные свойства сортов определяли по методике S. A. Eberharta, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина и др. (2011). Стрессоустойчивость ($Y_{min}-Y_{max}$) сортов и компенсаторную способность ($(Y_{min}+Y_{max})/2$) определяли по методике А. А. Rossielle, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко и др. (2019), параметры гомеостатичности (Hom) и селекционную ценность (S_c) урожайности сортов – по В. В. Хангильдину (1979).

Метеорологические условия за годы исследования (2019–2022 гг.) в вегетационный период ярового ячменя различались по температурному режиму и осадкам, что позволило оценить сорта на устойчивость к стрессовым факторам. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по методике Г. Т. Селянинова на основе данных агрометеостанции п. Тимирязевский. Многолетние значения гидротермического коэффициента вегетационного периода зерновых культур в условиях Приморского края находятся в пределах значения 1,8. Анализ ГТК за вегетационный период (всходы – полная спелость) свидетельствует о том, что наиболее благоприятным для роста и развития растений, формирования урожайности ярового ячменя был 2021 г. (ГТК – 1,2 влажный). Избыточно увлажненными отмечены 2022 г. (ГТК = 1,9), 2019 и 2020 гг. (ГТК = 1,6; 2,3 соответственно) что отрицательно повлияло на элементы продуктивности.

Результаты и их обсуждение. Сложность стабилизации производства высококачественного зерна в том, что признаки качества, которые в селекции растений первичны, в высокой степени изменяются от условий выращивания (Николаев и др., 2018).

Исследования показали, что высота растений варьировала от 53,7 (Калькуль) до 82,5 см (Восточный) (табл.1). По ряду хозяйственно ценных признаков (продуктивная кустистость, длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна с растением) в сравнении со стандартом был выделен ряд сортов.

Таблица 1. Структурный анализ сортов ярового ячменя по основным хозяйственно ценным признакам (2019–2022 гг.)
Table 1. Structural analysis of spring barley varieties according to the main economically valuable traits (2019–2022)

Сорт	Происхождение	Высота растения, см	Продуктивная кустистость, шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна, г	
						с колоса	с растения
Восточный, st	(Приморский край)	82,5	2,0	6,8	20,4	0,9	1,6
Приморский 89	(Приморский край)	79,3	1,6	7,5	17,8	1,0	1,3
Приморский 98	(Приморский край)	69,9	2,0	7,3	17,9	0,7	1,2
Тихоокеанский	(Приморский край)	61,6	2,2	5,7	17,5	0,7	1,2
Приморец	(Приморский край)	80,9	1,9	8,0	22,4	0,9	1,8
Приморский 100	(Приморский край)	77,5	2,9	7,5	48,8	1,2	1,9
Мелиус	(Германия)	68,7	2,0	7,3	19,9	0,7	1,4
Крешендо	(Германия)	56,2	1,6	6,5	18,0	0,8	1,2
Деспина	(Германия)	65,0	1,8	6,3	18,5	0,8	1,4
Маргарет	(Германия)	61,5	2,1	7,2	19,1	1,0	1,7
Лаурите	(Германия)	58,8	2,2	7,1	20,1	0,9	1,8
Калькуль	(Германия)	53,7	1,9	6,7	18,7	0,8	1,4
Грейс	(Германия)	57,3	2,0	6,9	18,2	0,7	1,7
Чарльз	(Германия)	64,0	2,4	7,2	19,7	0,9	1,6
Саломе	(Германия)	54,2	2,2	7,1	17,5	0,8	1,1
Булат	(Ставропольский край)	73,1	2,1	6,5	19,2	0,8	1,8
Орлан	(Самарская область)	64,5	2,1	5,6	14,7	0,7	1,2
Медикум 157	(Самарская область)	67,6	2,3	5,9	15,2	0,7	1,4
НСР _{0,95}		5,3	0,1	0,5	1,5	0,1	0,1

По продуктивной кустистости достоверно превышали стандарт сорта Приморский 100 (2,9 шт.), Чарльз (2,4 шт.), Медикум 157 (2,3 шт.), Тихоокеанский (2,2 шт.), Лаурите (2,2 шт.) и Саломе (2,2 шт.).

Длина колоса варьировала от 5,6 см (Орлан) до 8,0 см (Приморец), наибольшая озерненность колоса отмечена у сорта Приморский 100 – 48,8 шт., а минимальная – у сорта Орлан – 14,7 шт.

Масса зерна с растения – основной элемент структуры урожая. По данному признаку существенное превышение отмечено у сортов Приморский 100 (1,9 г), Приморец (1,8 г), Лаурите (1,8 г), Булат (1,8 г).

Одним из направлений в селекционной работе с ячменем является создание сортов пивоваренного направления, обладающих хорошими качествами зерна и способных сохранять его в меняющихся условиях выращивания. Для пивоварения сорт должен обладать такими качествами, как низкое содержание белка – 10 %, пленчатость – до 9 %, крахмала в зерне должно содержаться 58–65 %.

Важными биохимическими показателями качества зерна ячменя является содержание белка и крахмала, кроме того, большое

значение для оценки зерна имеют технологические качества (пленчатость, натура зерна) (Бутковская и Мудрова, 2021).

Пивоваренные и кормовые свойства зерна ячменя на 78–80 % зависят от почвенно-погодных условий и агротехники возделывания и только на 20–25 % – от генетических особенностей сортов. Изучение амплитуды изменчивости химического состава зерна позволяет установить степень реакции сорта на условия среды, что имеет важное значение для характеристики генотипа в конкретных условиях среды.

Масса 1000 зерен характеризует величину зерна, его крупность. Зерно с большей массой 1000 зерен имеет наилучшие технологические свойства. Масса 1000 зерен у сортов ярового ячменя варьировала от 33,2 г (Приморский 100) до 49,2 г (Крешендо). Пленчатость зерна ярового ячменя у сортов во все годы проведения исследований была в пределах 7,6–10,9 %. Исследования показали, что по ряду биохимических и технологических показателей выделен сорт ячменя Лаурите с содержанием крахмала 57,9 %, натурой зерна – 690 г/л, массой 1000 зерен – 48,8 г, низким количеством белка – 7,9 % и пленчатости – 8,4 % (табл. 2).

Таблица 2. Технологические и биохимические показатели качества зерна сортов ярового ячменя (2019–2022 гг.)
Table 2. Technological and biochemical indicators of grain quality of spring barley varieties (2019–2022)

Сорт, происхождение	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Пленчатость, %	Белок, %	Крахмал, %
Восточный, st (Приморский край)	47,2	665	9,6	11,0	54,6
Приморский 98 (Приморский край)	36,4	650	8,8	10,6	53,3
Приморский 89 (Приморский край)	45,2	680	10,2	12,1	55,5
Тихоокеанский (Приморский край)	45,1	680	10,9	10,0	54,0

Продолжение табл. 2

Сорт, происхождение	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Пленчатость, %	Белок, %	Крахмал, %
Приморец (Приморский край)	41,2	660	9,2	10,1	56,2
Приморский 100 (Приморский край)	33,2	645	8,7	10,4	55,3
Мелиус (Германия)	42,4	675	9,2	8,4	54,4
Крешендо (Германия)	49,2	675	9,2	8,9	54,2
Деспина (Германия)	46,4	670	9,6	8,4	54,8
Маргарет (Германия)	46,4	680	7,6	7,7	55,6
Лаурите (Германия)	48,8	690	8,4	7,9	57,9
Калькуль (Германия)	46,4	685	9,4	7,3	58,5
Грейс (Германия)	43,6	670	8,2	8,5	57,9
Чарльз (Германия)	48,0	670	8,6	8,4	60,0
Саломе (Германия)	42,8	650	9,6	9,4	59,5
Булат (Ставропольский край)	44,4	640	8,6	9,3	58,5
Орлан (Самарская область)	41,2	665	8,3	11,1	60,1
Медикум 157 (Самарская область)	41,6	640	7,9	13,1	58,2
НСР _{0,95}	5,4	20	1,1	2,3	2,7

Таким образом, из анализа показателей качества зерна сортов ячменя следует, что зерно с лучшими пивоваренными качествами сформировали сорта Крешендо и Маргарет. Эти сорта рекомендуются использовать в гибридизации для создания высокопродуктивных пивоваренных сортов. Сорта приморской селекции (Приморский 98, Восточный, Тихоокеанский, Приморец, Приморский 100) относятся к кормовому назначению.

Урожайность представляет собой сложный комплексный признак, определяющийся генотипом, окружающей средой и эффектами их взаимодействия (Vaezi et al., 2019). Исследования показали, что урожайность в годы изучения сортов варьировала от 2,0 до 6,7 т/га. В среднем наибольшая урожайность в сравнении со стандартом Восточный (3,8 т/га) отмечена у сортов Приморский 100, Грейс, Маргарет – 4,6/га, Приморец, Калькуль и Лаурите – 4,4 т/га.

Оценка по показателям пластичности и стабильности сортов позволяет выделить среди изучаемого сортимента наиболее перспективные, высокоурожайные, адаптированные к абиотическим и биотическим факторам среды (Гудзенко, 2019). Для отбора ценного исходного материала в селекции на адаптивность применяют такие показатели, как коэффициент регрессии (b_i), дисперсия стабильности (S^2d), стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$), генетическая гибкость $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$, гомеостатичность

(Hom), селекционная ценность (Sc) (Сафонова и Аниськов, 2022).

Методика S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) является общепринятой для определения экологической стабильности и пластичности. Сущность данного метода заключается в расчете коэффициента линейной регрессии (b_i) и дисперсии отклонений от линии регрессии (S^2d) для каждого сорта. Зависимость роста пластичности сорта зачастую способствует снижению его стабильности. В связи с этим для селекционной практики более ценными являются генотипы с высокой пластичностью ($b_i > 1$) и низким индексом стабильности ($S^2d = 0$). В нашем опыте исследуемый материал обладал широким пределом изменчивости коэффициента регрессии – от 0,2 до 3,9 (табл. 3).

Сорта ярового ячменя Тихоокеанский, Приморский 100, Мелиус, Крешендо, Деспина, Маргарет, Калькуль с пластичностью ниже 1 ($b_i < 1$) относятся к экстенсивному типу с низкой отзывчивостью на улучшения условий выращивания. Высокой отзывчивостью ($b_i > 1$) на улучшение условий отмечены 10 сортов, что характерно для генотипов интенсивного типа.

Наибольшие значения (b_i) отмечены у сортов Лаурите ($b_i = 1,9$), Орлан ($b_i = 1,9$), Приморец ($b_i = 1,3$), которые имели низкие показатели стабильности ($S^2d = 0,1; 0,3; 0,1$ соответственно), что свидетельствует о высокой отзывчивости на условия возделывания.

Таблица 3. Параметры адаптивности сортов ярового ячменя различного происхождения (2019–2022 гг.)

Table 3. Adaptability parameters of spring barley varieties of different origins (2019–2022)

Сорт, происхождение	Урожайность, т/га		b_i	S^2d	Экологическая устойчивость, $Y_{\min} - Y_{\max}$	Генетическая гибкость $(Y_2 + Y_1)/2$	Коэффициент вариации (V), %	Гомеостатичность (Hom)	Селекционная ценность сорта (Sc)
	Min (Y_2) – Max (Y_1)	\bar{x}							
Восточный, st (Приморский край)	2,8–4,0	3,8	1,8	2,0	-1,2	3,4	20,0	3	1,9
Приморский 89 (Приморский край)	2,3–5,0	3,3	1,6	1,1	-2,7	3,6	17,1	18	2,9

Продолжение табл. 3

Сорт, происхождение	Урожайность, т/га		b_i	S^2d	Экологическая устойчивость, $Y_{\min}-Y_{\max}$	Генетическая гибкость $(Y_2+Y_1)/2$	Коэффициент вариации (V), %	Гомеостатичность (Ном)	Селекционная ценность сорта (S_c)
	Min (Y_2) – Max (Y_1)	\bar{x}							
Приморский 98 (Приморский край)	2,5–5,4	3,4	1,7	1,2	-2,9	3,9	18,1	16	2,9
Тихоокеанский (Приморский край)	2,9–4,3	3,5	0,2	0,9	-1,4	3,6	42,4	1	1,0
Приморец (Приморский край)	2,8–4,0	4,4	1,3	0,1	-1,2	4,7	25,6	7	2,7
Приморский 100 (Приморский край)	2,8–3,5	4,6	0,4	0,8	-0,7	3,1	11,6	40	3,4
Мелиус (Германия)	2,9–6,7	4,1	0,2	2,7	-3,8	4,8	7,0	101	3,1
Крешендо (Германия)	2,9–6,4	4,0	0,7	1,7	-3,5	4,6	15,9	21	3,3
Деспина (Германия)	2,9–5,8	4,0	0,7	1,1	-2,9	4,3	18,8	15	2,6
Маргарет (Германия)	2,9–5,5	4,6	0,4	0,3	-2,6	4,2	9,0	2	3,2
Лаурите (Германия)	2,5–5,5	4,4	1,9	0,1	-3,0	4,0	17,3	60	1,6
Калькуль (Германия)	2,7–5,4	4,4	0,8	1,9	-2,7	4,0	27,6	6	1,6
Грейс (Германия)	2,7–6,7	4,6	1,0	0,0	-4,0	4,7	36,6	2	1,5
Чарльз (Германия)	2,9–5,5	4,1	2,3	2,2	-2,6	4,2	29,3	6	3,3
Саломе (Германия)	2,0–4,7	3,8	1,7	2,9	-2,7	3,3	26,2	7	3,5
Булат (Ставропольский край)	2,8–6,7	4,0	3,9	1,8	-3,9	4,7	24,9	2	2,1
Орлан (Самарская область)	2,2–4,9	4,0	1,9	0,3	-2,7	3,5	11,7	31	4,2
Медикум 157 (Самарская область)	2,0–6,1	4,2	1,0	0,3	-4,1	4,0	21,1	10	3,0
НСР _{0,95}	–	0,2	–	–	–	–	–	–	–

Еще одним подходом дополнительной оценки адаптивности сортов к стрессовым условиям возделывания могут являться показатели стрессоустойчивости и компенсаторной способности. Уровень устойчивости к стрессу ($Y_{\min}-Y_{\max}$) определяется разностью между максимальной и минимальной урожайностью сорта (Сафонова и Аниськов, 2022).

О высоких свойствах стрессоустойчивости свидетельствует наименьшее значение величины данного признака. Высокая стрессоустойчивость (-0,7) отмечена у сорта Приморский 100.

Показатель компенсаторной способности $(Y_{\min}+Y_{\max})/2$ позволяет судить о генетической гибкости сорта и его степени соответствия факторам среды (Сафонова и Аниськов, 2022). Высокая компенсаторная способность выявлена у сорта Мелиус (Германия) – 4,8, Грейс (Германия), Приморец (Приморский край) и Булат (Ставропольский край) – 4,7.

Один из важных показателей, характеризующих устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов среды, – гомеостаз, являющийся универсальным свойством в системе взаимоотношения генотипа и внешней среды (Аниськов и Сафонова, 2020).

Исследования показали, что сорта Мелиус (Ном – 101), Лаурите (Ном – 60), Приморский 100 (Ном – 40), характеризующиеся высокой гомеостатичностью, способны сводить к минимуму последствия неблагоприятных воздействий внешней среды.

Анализ селекционной ценности генотипа (S_c) базируется на сравнении его урожайности в лимитированной и оптимальных средах применительно к средней продуктивности (Николаев и др., 2018). Чем выше показатель,

тем более стабилен уровень урожайности сорта. В результате исследований выделен сорт с высокой селекционной ценностью Орлан – 4,2.

Выводы. Таким образом, в результате изучения сортов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения в условиях муссонного климата Приморского края выделены источники с ценными селекционно-хозяйственными признаками и качеством зерна, которые рекомендуется использовать в селекции в качестве исходного материала с целью создания новых высокопродуктивных генотипов с высоким качеством зерна, экологической пластичностью и стабильностью.

1. Наибольшая урожайность в сравнении со стандартом Восточный (3,8 т/га) отмечена у сортов Приморский 100 (Приморский край), Грейс (Германия), Маргарет – 4,6 т/га; Приморец (Приморский край), Калькуль (Германия), Лаурите (Германия) – 4,4 т/га.

2. С высокой крупностью зерна (масса 1000 зерен 49,2 г) показал себя сорт Крешендо (Германия), с ценными биохимическими и технологическими показателями выделен сорт ячменя Лаурите (Германия) пивоваренного направления.

3. Для Приморского края, климат которого имеет нестабильный характер, интерес приобретают сорта: Лаурите (Германия) – ($b_i = 1,9$), Орлан (Самарская область) ($b_i = 1,9$) и Приморец (Приморский край) ($b_i = 1,3$), которые имели низкие показатели стабильности ($S^2d = 0,1; 0,1; 0,2$ соответственно), что свидетельствует о высокой отзывчивости на условия возделывания. Данные сорта формируют стабильный урожай зерна высокого качества и в неблагоприятных условиях произрастания.

Библиографические ссылки

1. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку «масса 1000 зерен» // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181(3). С. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63
2. Бутковская Л. К., Мудрова В. Е. Влияние первоначальной всхожести на качество семян зерновых культур в условиях Красноярской лесостепи // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. 2021. № 4(65). С. 6–13. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.001
3. Гончаренко А. А., Макаров А. В., Ермаков С. А., Семенова Т. В., Точилин В. Н., Цыганкова Н. В., Скатова С. Е., Крахмалева О. А. Экологическая устойчивость сортов озимой ржи с различным типом короткостебельности // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 3. С. 3–9. DOI: ogr/10.31857/S2500-2627201933-9
4. Гудзенко, В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(1). С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19/469
5. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнеева С. П. Методики расчета экологической пластичности сельскохозяйственных растений по дисциплине «Экологическая генетика». Омск: ОмГАУ, 2008. 36 с.
6. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса / И. Г. Лоскутов, О. Н. Ковалева, Е. В. Блинова. Изд. 4-е, доп. и перераб. Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова, 2012. 63 с.
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 1. Общая часть. М.: Колос, 2019. 329 с.
8. Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Юсова О. А. Пластичность, стабильность и адаптивность качества зерна сортов ярового ячменя в условиях Омской области // Вестник Омского государственного университета. 2018. С. 43–48. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-43-48
9. Николаев П. Н., Юсова О. А., Васюкевич С. В., Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Адаптивный потенциал сортов ярового овса по признаку «масса 1000 зерен» в условиях Омского Прииртышья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. № 179(4). С. 28–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-28-38
10. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный Вестник Урала. 2022. № 06(221). С. 16–26. DOI: 10.32417/1997-48682022-221-06-16-26
11. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П., Засыпкина И. М. Оценка экологической пластичности и стабильности перспективных сортов и линий озимого ячменя в конкурсном сортоиспытании // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 8–14. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-8-14
12. Хангильдин В. В., Шаяхметов И. Ф., Мардамшин А. Г. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы // Генетический анализ количественных признаков растений. Уфа, 1979. С. 5–39.
13. Якубышина, Л. И. Пластичность и стабильность селекционных линий ячменя в условиях Тюменской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6(86). С. 54–57.
14. Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Mehraban A., Hossein-pour T., Koohka. E., Ghasemi S., Moradkhani H., Siddique K.H.M. Integrating different stability models to investigate genotype x environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes // Euphytica. 2019. Vol. 215(4), Article number: 63. DOI: 10.1007/s10681-09-2386-5
15. Miralles D. J., Abeledo G. L., Prado S. A., Chenu K., Serrago R. A., Savin R. Barley. In: V. O. Sadras, D. F. Calderini (eds). // Crop Physiology Case Histories for Major Crops. Cambridge, MA: Academic Press. 2021. P. 164–195. DOI: 10.1016/B978-0-2-819194-1.00004-9
16. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. Vol. 6(1), P. 36–40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
17. Murugova G. A., Pavlova N. A., Klykov A. G. Evaluation of Adaptive Properties of the Spring Barley Varieties Using Mathematical Analysis // CEUR Workshp Proceedings : Short Paper Proceedings of the V international Conference on information Technologies and High-Performance Computing (ITHPC-2019), Sept. 16–19, 2019. Khabarovsk, Russia. 2019. Vol. 2426, P. 110–115.

References

1. Anis'kov N. I., Safonova I. V. Sravnitel'naya otsenka pokazatelei plastichnosti, stabil'nosti i gomeostatichnosti sortov ozimoi rzhi selektsii VIR po priznaku «massa 1000 zeren» [Comparative estimation of indicators of adaptability, stability and homeostaticity of winter rye varieties developed by VIR according to the trait '1000-grain weight'] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. № 181(3). S. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63
2. Butkovskaya L. K., Mudrova V. E. Vliyanie pervonachal'noi vskhozhesti na kachestvo semyan zernovykh kul'tur v usloviyakh Krasnoyarskoi lesostepi [The effect of initial germination on the quality of grain seeds in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe] // Vestnik Buryatskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii imeni V. R. Filippova. 2021. № 4(65). S. 6–13. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.001
3. Goncharenko A. A., Makarov A. V., Ermakov S. A., Semenova T. V., Tochilin V. N., Tsygankova N. V., Skatova S. E., Krakhmaleva O. A. Ekologicheskaya ustoichivost' sortov ozimoi rzhi s razlichnym tipom korotkostebel'nosti [Environmental sustainability of winter rye varieties with

different types of short stems] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2019. № 3. S. 3–9. DOI: ogr/10.31857/S2500-2627201933-9

4. Gudzenko, V. N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh linii yachmenya ozimogo [Statistical and graphical (GGE biplot) estimation of the adaptive capacity and stability of winter barley breeding lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. № 23(1). S. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19/469

5. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S., Korneeva S. P. Metodiki rascheta ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii po distsipline "Ekologicheskaya genetika" [Methods for calculating the ecological adaptability of agricultural plants in the discipline "Ecological Genetics"]. Omsk: OmGAU, 2008. 36 s.

6. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoi kolleksii yachmenya i ovsa [Methodical recommendations for the study and preservation of the world collection of barley and oats] / Loskutov I. G., Kovaleva O. N., Blinova E. V. Izd. 4-e, dop. i pererab. Sankt-Peterburg: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut rastenievodstva im. N. I. Vavilova, 2012. 63 s.

7. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Vypusk 1. Obshchaya chast'. M.: Kolos, 2019. 329 s.

8. Nikolaev P. N., Anis'kov N. I., Yusova O. A. Plastichnost', stabil'nost' i adaptivnost' kachestva zerna sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh Omskoi oblasti [Adaptability, stability, and adaptive properties of grain quality of spring barley varieties in the conditions of the Omsk region] // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta. 2018. S. 43–48. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-43-48

9. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Vasyukevich S. V., Anis'kov N. I., Safonova I. V. Adaptivnyi potentsial sortov yarovogo ovsa po priznaku «massa 1000 zeren» v usloviyakh Omskogo Priirtysh'ya [Adaptive potential of spring oat varieties according to the trait '1000-grain weight' in the conditions of the Omsk Irtysh region] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2018. № 179(4). S. 28–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-28-38

10. Safonova I. V., Anis'kov N. I. Znachimost' kompleksnoi otsenki selektsionnykh indeksov i parametrov stressoustoichivosti sortov ozimoi rzhii [The importance of a comprehensive estimation of breeding indices and stress resistance parameters of winter rye varieties] // Agrarnyi Vestnik Urala. 2022. № 06(221). S. 16–26. DOI: 10.32417/1997-48682022-221-06-16-26

11. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Zasypkina I. M. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti perspektivnykh sortov i linii ozimogo yachmenya v konkursnom sortoispytanii [Estimation of environmental adaptability and stability of promising winter barley varieties and lines in the Competitive Variety Testing] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 4(76). S. 8–14. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-8-14

12. Khangil'din V. V., Shayakhmetov I. F., Mardamshin A. G. Gomeostaz komponentov urozhaya zerna i predposylki k sozdaniyu modeli sorta yarovoi pshenitsy [Homeostasis of grain yield components and prerequisites for developing a model of spring wheat variety] // Geneticheskii analiz kolichestvennykh priznakov rastenii. Ufa, 1979. S. 5–39.

13. Yakubyshina, L. I. Plastichnost' i stabil'nost' selektsionnykh linii yachmenya v usloviyakh Tyumenskoi oblasti [Adaptability and stability of barley breeding lines under the conditions of the Tyumen region] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 6(86). S. 54–57.

14. Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Mehraban A., Hossein-pour T., Koohka E., Ghasemi S., Moradkhani H., Siddique K.H.M. Integrating different stability models to investigate genotype x environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes // Euphytica. 2019. Vol. 215(4), Article number: 63. DOI: 10.1007/s10681-09-2386-5

15. Miralles D. J., Abeledo G. L., Prado S. A., Chenu K., Serrago R. A., Savin R. Barley. In: V. O. Sadras, D. F. Calderini (eds). // Crop Physiology Case Histories for Major Crops. Cambridge, MA: Academic Press. 2021. P. 164–195. DOI: 10.1016/B978-0-2-819194-1.00004-9

16. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. Vol. 6(1), P. 36–40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

17. Murugova G. A., Pavlova N. A., Klykov A. G. Evaluation of Adaptive Properties of the Spring Barley Varieties Using Mathematical Analysis // CEUR Worksop Proceedings : Short Paper Proceedings of the V international Conference on information Technologies and High-Performance Computing (ITHPC-2019), Sept. 16–19, 2019. Khabarovsk, Russia. 2019. Vol. 2426, P. 110–115.

Поступила: 24.04.24; доработана после рецензирования: 01.07.24; принята к публикации: 02.07.24.

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. Муругова Г. А. – выполнение полевых опытов, концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Клыков А. Г. – общее научное руководство, критический анализ текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДУКТИВНОСТИ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО КРЫМА

Л. А. Радченко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, radchenkolydmila@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7410-1870;

Т. Л. Аверченко¹, младший научный сотрудник лаборатории семеноводства и сортоизучения новых генотипов, ganotskya.tanya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;

Д. М. Марченко², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903
¹ФГБУН «НИИСХ Крыма»,

295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150; e-mail: isg.krym@gmail.com;

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Основные посевные площади в Республике Крым заняты озимыми зерновыми культурами. Исследования, которые проводили ученые Крыма в течение многих лет и подтвержденные в производстве, показали, что урожайность озимых зерновых нестабильна и значительно варьирует в разные по погодным условиям годы. Разница по урожайности отмечается также в зависимости от сорта. Целью исследований являлась оценка основных элементов продуктивности и урожайности новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» в контрастных погодных условиях степного Крыма. В данной статье обобщены результаты многолетних исследований возделывания озимой мягкой пшеницы и выявлены наиболее адаптированные к засушливым условиям сорта. Опыты были заложены на полях ФГБУН «НИИСХ Крыма» по предшественнику черный пар в разные по погодным условиям годы (2018–2023 гг.). Объектом исследований служили 12 сортов озимой мягкой пшеницы Аграрного научного центра «Донской», стандарт – сорт Ермак. Учетная площадь опытных делянок 25 м². Размещение делянок систематическое в четырехкратной повторности. Норма высева пшеницы – 5 млн шт. всхожих зерен на гектар. Закладку опытов и статистическую обработку выполняли по Б. А. Доспехову и по методике Госсортоиспытания. Изучение сортов озимой пшеницы селекции АНЦ «Донской» показало их разную реакцию на контрастные погодные условия Крыма от ранних периодов роста и развития растений до формирования основных показателей продуктивности. В неблагоприятных условиях 2020 г. средняя урожайность сортов составила 3,90 т/га; в 2019, 2022 и 2023 гг. она превысила 5,0 т/га. Исследования позволили выделить сорта с максимальной урожайностью – Донская степь (5,38 т/га) и Раздолье (5,33 т/га). Основной составляющей урожайности сорта Донская степь была масса зерна с колоса, сорта Раздолье – продуктивный стеблестой.

Ключевые слова: озимая пшеница, погодные условия, продуктивность, густота продуктивного стеблестоя, масса зерна, масса 1000 зерен, урожайность.

Для цитирования: Радченко Л. А., Аверченко Т. Л., Марченко Д. М. Оценка показателей продуктивности новых сортов озимой пшеницы в условиях степного Крыма // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 24–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-24-32.



ESTIMATION OF PRODUCTIVITY INDICATORS OF NEW WINTER WHEAT VARIETIES IN THE STEPPE CRIMEA

L. A. Radchenko¹, Candidate of Agricultural Sciences, deputy director for research, radchenkolydmila@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7410-1870;

T. L. Averchenko¹, junior researcher of the laboratory for seed production and varietal study of new genotypes, ganotskya.tanya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;

D. M. Marchenko², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903
¹FSBSI “Research Institute of Agriculture in Crimea”,

295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya str., 150; e-mail: isg.krym@gmail.com;

²FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The main sown areas in the Republic of Crimea are occupied by winter grain crops. The study conducted by Crimean scientists over many years and confirmed in production has shown that productivity of winter grain crops is unstable and varies significantly in years with different weather conditions. The difference in productivity is also found to depend on a variety. The purpose of the current study was to estimate the main elements of productivity and yield of new winter common wheat varieties developed by the FSBSI “ARC “Donskoy” in the contrasting weather conditions of the steppe Crimea. The current paper has summed up the results of the long-term study of winter common wheat cultivation and identified the varieties most adapted to dry conditions. The trials were carried out on the fields of the FSBSI “Research Institute of Agriculture in Crimea” after black fallow in the years of different weather conditions (2018–2023). The objects of research were 12 winter common wheat varieties from the Agricultural Research Center “Donskoy”, the standard variety being ‘Ermak’. The registration area of the experimental plots was 25 m². The placement of plots was systematic and repeated four times. The wheat sowing rate was 5 million pcs. of germin. grains per hectare. The trials

and statistical processing were performed according to the methods of B. A. Dospekhov and the State Variety Testing. The study of winter wheat varieties bred by the ARC "Donskoy" has shown their different responses to the contrasting weather conditions of Crimea from the early periods of plant growth and development up to the formation of basic productivity indicators. Under unfavorable conditions of 2020, the mean productivity of varieties was 3.90 t/ha; in 2019, 2022 and 2023 it exceeded 5.0 t/ha. The study has made it possible to identify varieties with maximum productivity, such as 'Donskaya Step' (5.38 t/ha) and 'Razdolie' (5.33 t/ha). The main component of the productivity of the variety 'Donskaya Step' was grain weight per ear, and that of variety 'Razdolie' was a productive stem.

Keywords: winter wheat, weather conditions, productivity, productive stem density, grain weight, 1000-grain weight, yield.

Введение. Озимые зерновые – основные культуры крымского региона, и площадь под ними ежегодно составляет более 500 тыс. га, около 60 % из которых занимает озимая пшеница. Многолетние научные исследования и производственный опыт выращивания озимых зерновых в регионе позволили установить, что их урожайность в значительной степени колеблется по годам и зависит от нескольких факторов, основными из которых являются погодные условия и сортовой состав.

В связи со значительной реакцией сортов на биотические факторы, основные из которых влага и температурный режим, их изучение необходимо проводить в течение нескольких лет и выделять наиболее адаптированные за годы исследований. По мнению Б. И. Сандухадзе, от 20 до 28 % прироста урожая зависит от правильно выбранного сорта, а при экстремальных метеорологических условиях его роль повышается многократно (Сандухадзе, 2010). Изменение климатических параметров с каждым годом становится все более заметным. При этом режим тепла и осадков, несмотря на научно-технический прогресс в сельском хозяйстве, остается фактором риска для сельскохозяйственной деятельности (особенно для растениеводства и, соответственно, для всех процессов, связанных с использованием его продукции) (Положихина, 2021).

Исследованиями ряда авторов установлено, что при выборе сорта для выращивания в конкретных почвенно-климатических условиях необходимо учитывать не только их пригодность к данному региону, но и устойчивость к вредным организмам (Зеленева и др., 2022). При наличии контрастных погодных условий нельзя обойтись одним сортом. Оптимально иметь несколько сортов, рассчитанных на разный уровень урожайности при возделывании в различных условиях. Сорт должен обладать экологической пластичностью и сохранять стабильно высокую урожайность в различных погодно-климатических условиях. Повышение урожайности является одной из основных и наиболее сложных задач селекционных исследований создаваемого сорта, так как она зависит от множества компонентов и факторов (Иванова и Ильина, 2020; Барковская и др., 2022). Создание селекционерами новых сортов способно решать современные задачи в различных зонах и избегать снижения продуктивности в зависимости от погодных условий.

Погодные условия последних лет отличаются значительной контрастностью, поэтому создание сортов, адаптивных к различным погодным условиям, и их изучение для определе-

ния проявления морфологических признаков и хозяйственно ценных свойств является актуальным направлением повышения продуктивности зерновых культур.

Цель исследований: оценка основных элементов продуктивности и урожайности новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в контрастных погодных условиях степного Крыма.

Материалы и методы исследований. Исследования по оценке сортов озимой пшеницы закладывали с 2018 по 2023 г. на опытном поле ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», расположенном в центральной степной зоне полуострова Крым (с. Клепинино, Красногвардейский район).

Почвы представлены черноземом южным слабо гумусированным, развитым на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах. Содержание гумуса (по Тюрину) – 2,4–2,7 %, легкогидролизуемого азота – 5,2 мг/100 г абсолютно сухой почвы, фосфора и калия – 1,0–2,5 мг и 42 мг/100 г почвы соответственно, кислотность – 7,7–7,9 ед. рН (ГОСТ 26483-85) (Половицкий и Гусев, 1987).

Климат района проведения исследований континентальный засушливый с большой амплитудой годовых колебаний температуры воздуха и атмосферных осадков. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,2 °С. Наиболее холодный месяц – февраль с температурой воздуха от -2,3 до 0 °С. Глубина промерзания почвы обычно не превышает 20–30 см.

В летний период температурный режим находится в пределах 20–24 °С, в отдельные годы максимальная температура воздуха может достигать 35–39 °С. Среднее годовое количество осадков составляет 426 мм (Прудко, 2011). Гидротермический коэффициент, ГТК (по Г. Т. Селянинову) составляет 0,5–0,7. Согласно многолетним данным каждый третий год является засушливым.

Метеорологические условия за годы сортоизучения были контрастными, что позволило оценить продуктивность сортов как при благоприятных, так и неблагоприятных условиях.

Достаточное количество осадков в осенний период (131 мм) отмечалось лишь в условиях 2018 года. В предпосевной период 2019 г. осадков было почти в 2 раза меньше среднегогодового показателя, а средняя температура воздуха превышала норму в сентябре, октябре и ноябре на 1,6; 2,8; и 7 °С соответственно. Предпосевной период 2020 г. был также неблагоприятным по влагообеспечению и с по-

вышенным температурным режимом в первой половине осени. Осень 2021 г. отличалась пониженным температурным режимом и выпадением осадков в сентябре и начале ноября и повышенной температурой с дефицитом осадков в октябре. Предпосевной и посевной периоды 2022 г. отличались повышенным температурным режимом (в октябре на 2 °С, в третьей декаде ноября на 5 °С выше нормы) и недостатком влаги.

Условия для перезимовки озимых были благоприятными во все годы исследований. Минимальная температура на уровне узла кущения опускалась не ниже -8,5 °С.

В 2019 г. основное количество осадков выпало в зимний период, что позволило накопить в почве влаги на уровне 140–160 мм. Весенние осадки выпадали довольно неравномерно, и их значительный недостаток отмечался с апреля по май, когда озимые зерновые находились в фазе трубкования, и в период налива зерна. Недостаточное количество продуктивной влаги (до 100 мм) в метровом горизонте ко времени возобновления вегетации отмечалось в 2020 и 2021 годах. В эти годы наблюдались весенние засухи с ГТК 0,25 и 0,63 соответственно. Кроме того, в 2020 г. со второй декады марта и в течение апреля около 20 дней наблюдались ночные заморозки до -7,5–8,3 °С. За весенний период отмечено 45 дней с относительной влажностью воздуха 30 % и ниже, что на 27 дней больше среднегодовалого показателя.

Условия весенних вегетационных периодов 2022 и 2023 гг. были благоприятными с выпадением осадков в основные критические фазы развития растений.

Таким образом, погодные условия в вегетационный период 2018/2019, 2021/2022 и 2022/2023 гг. в основном были благоприятными для роста и развития озимой пшеницы, в 2020/2021-м – удовлетворительными,

а в 2019/2020-м – неблагоприятными в течение всего периода вегетации.

Однофакторный опыт закладывали в 10-польном севообороте по предшественнику черный пар. Подготовка предшественника и технология возделывания – общепринятая для выращиваемых озимых зерновых культур в регионе.

В опыте исследовали основные элементы продуктивности и урожайность одиннадцати сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ АНЦ «Донской» в сравнении со стандартом – сортом Ермак. Сорты высевали во второй декаде октября в оптимальный для озимых зерновых срок сева. Учетная площадь делянок составляла 25 м². Размещение делянок систематическое в четырехкратной повторности.

Уборку урожая проводили комбайном Wintersteige Classic в фазу полной спелости зерна пшеницы с последующим взвешиванием.

Проведение полевых опытов сопровождалось наблюдениями, учетами, измерениями и анализами согласно методике Госсортоиспытания (2019). Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили по методике Б. А. Доспехова (2014).

Результаты и их обсуждение. Получение дружных, хорошо развитых всходов озимых зерновых культур в значительной степени определяет их зимостойкость и создает условия для формирования высокого урожая. За годы исследований погодные условия были очень контрастными, что оказывало влияние на длительность важных для первоначального роста и развития растений периодов.

Продолжительность периода от посева до всходов сортов озимой пшеницы составляла от 11 до 70 дней, от всходов до прекращения вегетации – от 16 до 52 дней, а в условиях 2019–2020 гг. прекращение вегетации за зимний период не было отмечено (табл. 1).

Таблица 1. Условия формирования урожая сортов озимой мягкой пшеницы (2018–2023 гг.)
Table 1. Conditions for yield formation of winter common wheat varieties (2018–2023)

Годы	Дата посева	Период от посева до всходов, дней	Дата прекращения осенней вегетации	Период от всходов до прекращения вегетации, дней	Фаза развития растений	Дата возобновления весенней вегетации
2018–2019	17.10	11	13.11	16	2 листа	26.02
2019–2020	15.10	70		Прекращение вегетации не отмечалось		
2020–2021	16.10	11	6.12	37	начало кущения	14.03
2021–2022	15.10	12	21.12	52	2–3 побега	24.03
2022–2023	17.10	15	19.12	49	2–3 побега	24.02

Близкое к среднегодовалой дате (2 декабря) прекращение осенней вегетации отмечалось лишь в 2020 г. – 6 декабря. В 2018 г. оно было на 2 недели раньше, а в 2021 и 2022 гг. почти на две декады позже среднегодовой даты.

Растения озимых, имеющие перед уходом в зиму оптимальную фазу развития, отличаются высокой зимостойкостью и продуктивностью. Известно, что наиболее благоприятной

фазой развития растений озимой пшеницы перед уходом в зиму в основных районах возделывания считается формирование 2–4-х побегов. В наших исследованиях наиболее слабо развитыми (фаза 2-го листа) перед уходом в зиму растения озимых были только в 2018 г. в связи с ранним прекращением осенней вегетации. В 2020 г. перед прекращением вегетации растения находились в фазе начала кущения, а в два последующих года – в фазе кущения

с 2–3-мя побегами. В связи с повышенным температурным режимом в зимний период ежегодно отмечалось трехкратное возобновление вегетации, что способствовало дальнейшему куцению растений.

Важным фактором, влияющим на урожайность озимых зерновых культур, является время возобновления весенней вегетации. По данным В. Д. Мединца, раннее возобновление вегетации способствует формированию более высокой урожайности мягкой озимой пшеницы (Мединец, 2010). Ряд ученых подтверждают это мнение. Быстрое нарастание температур в марте с большим количеством осадков в этот период способствует раннему началу весенней вегетации, развитию вторичной корневой системы, дальнейшему куцению и способности переносить высокие температуры на протяжении всего остального периода вегетации (Самофалова и др., 2019). Наши исследования не подтверждают наличия прямой связи между урожайностью и временем возобновления весенней вегетации.

Возобновление весенней вегетации в 2021 г. отмечено 14 марта, что совпало со среднеголетней датой. В 2022 г. возобновление вегетации отмечено на декаду позже, а в 2019 и 2021 гг. – почти на две декады раньше.

Продолжительность периода вегетации является одним из основных адаптационных признаков, по которому определяют пригодность сортов к возделыванию в определенной зоне. В условиях Крыма фаза колошения – более надежный критерий для определения скороспелости сортов, чем фаза созревания. Это связано с высокими температурами при наступлении последних этапов спелости зерна, что не дает возможности установить дату естественного созревания, которое отмечается практически одновременно.

Оценку скороспелости проводили по дате колошения, которая наступала в разные сроки в связи со складывающимися погодными условиями. Наиболее ранние сроки колошения озимой пшеницы отмечались в 2019 и 2020 гг. – с 11 мая на наиболее раннеспелом сорте Жаворонок до 17 и 21 мая соответственно на сорте Амбар, наиболее позднеспелом из изучаемых. Наиболее поздние сроки колошения озимой пшеницы отмечались в 2022 г. – с 19 мая на ранних сортах до 26 мая на позднем сорте. Проведенные исследования позволили нам выделить сорта разных групп спелости в среднем за годы изучения (рис. 1).

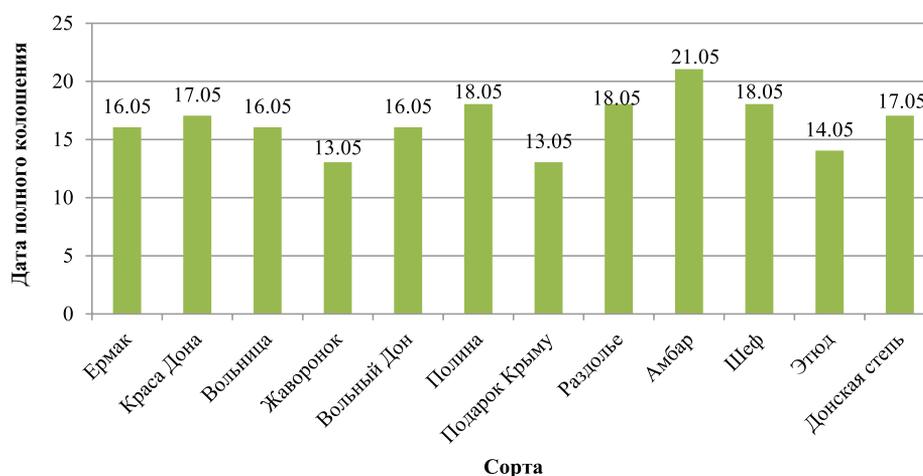


Рис. 1. Дата полного колошения сортов озимой мягкой пшеницы, среднее за 2019–2023 годы
Fig. 1. Full heading date of winter common wheat varieties, mean in 2019–2023

К наиболее ранним из изучаемых в опыте можно отнести сорта Жаворонок, Подарок Крыму и Этюд, средние сроки колошения которых приходились на 13–14 мая, более поздними являются сорта Полина, Раздолье, Шеф (дата колошения 18 мая), наиболее поздним – сорт Амбар, колошение которого в среднем за годы исследований отмечено 21 мая. Остальные изучаемые сорта относятся к средней группе спелости и находятся на уровне стандарта – сорта Ермак.

Одним из основных признаков, определяющих продуктивность растения, яв-

ляется кустистость – общая и продуктивная. Урожайность связана с продуктивной кустистостью, или продуктивным стеблестоем, который определяется главным образом генотипическими особенностями сортов и погодными условиями, в первую очередь в период осеннего и весеннего куцения.

Анализируя продуктивный стеблестой сортов озимой пшеницы в наших исследованиях, было установлено, что этот показатель в большей степени зависит от года выращивания (табл. 2).

Таблица 2. Густота продуктивного стеблестоя сортов озимой пшеницы в разные по погодным условиям годы, шт./м² (2019–2023 гг.)
Table 2. Productive stem density of winter wheat varieties in years with different weather conditions, pcs./m² (2019–2023)

Сорта	Годы исследований					Среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Ермак, st	533	362	462	492	380	446
Краса Дона	390	401	521	701	459	494
Вольница	452	236	477	506	391	412
Жаворонок	432	311	447	567	435	438
Вольный Дон	557	392	524	686	491	530
Полина	486	266	407	602	427	438
Подарок Крыму	389	383	432	600	429	447
Раздолье	600	344	479	662	469	511
Амбар	438	275	380	510	461	413
Шеф	575	494	500	573	462	521
Этюд	531	380	512	638	427	498
Донская степь	477	410	495	557	459	480
Среднее	488	354	470	591	440	–
НСР ₀₅		64	72	34	89	75

Максимальная густота стеблестоя растений у всех сортов наблюдалась в наиболее благоприятном 2022 г. (в среднем по сортам – 591 шт./м²). Несколько меньше продуктивных стеблей на квадратном метре отмечалось в 2023 и 2021 гг. (440 и 470 шт./м² соответственно). Значительно ниже густота стеблестоя была в 2019 г. и составила в среднем по сортам 354 шт./м². За годы исследований количество продуктивных стеблей изменялось в широких пределах – от 236 шт./м² на сорте Вольница в 2020 г. до 701 шт./м² на сорте Краса Дона в условиях 2022 года. В среднем за годы исследований максимальная густота продуктивного стеблестоя формировалась на сортах Вольный Дон, Шеф и Раздолье (530, 521 и 511 шт./м² соответственно).

Масса зерна с колоса – один из главных показателей продуктивности растений. Данный показатель зависит от разных сочетаний элементов структуры урожайности, основным из которых является количество продуктивных стеблей на единицу площади. Формирование более плотного стеблестоя может снижать индивидуальную продуктивность колоса, но если продуктивность колоса снижается незначи-

тельно или остается стабильной, то урожайность зерна повышается за счет большего числа продуктивных стеблей. Поэтому интерес представляют сорта, у которых индивидуальная продуктивность колоса с увеличением плотности стеблестоя снижается незначительно или даже повышается при определенных условиях (Кошеляев и др., 2021).

Нашими исследованиями было установлено, что масса зерна колоса у изучаемых сортов озимой пшеницы не снижалась достоверно относительно стандарта Ермак, а была на уровне или выше его (табл. 3). Варьирование массы зерна колоса проявлялось в зависимости от погодных условий и плотности стеблестоя. В 2022 и 2023 гг., наиболее благоприятным по погодным условиям, она составляла 1,5 г, в менее благоприятные годы – 1,3 и 1,1 г. Наиболее высокую массу зерна с колоса (2,0 г в 2020 г. и 1,9 г в 2022 г.) мы отмечали на сортах Вольница и Амбар, что связано с низкой плотностью стеблестоя этих сортов в соответствующие годы исследований. В среднем за годы исследований максимальная масса зерна с колоса формировалась на сортах Краса Дона, Вольница и Жаворонок и составляла 1,5 г.

Таблица 3. Масса зерна с колоса сортов озимой пшеницы в разные по погодным условиям годы (2019–2023 гг.)
Table 3. Grain weight per ear of winter wheat varieties in years with different weather conditions (2019–2023)

Сорта	Годы исследований					Среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Ермак, st	1,3	1,1	1,1	1,6	1,7	1,4
Краса Дона	1,4	1,5	1,4	1,4	1,7	1,5
Вольница	1,4	2,0	0,8	1,6	1,6	1,5
Жаворонок	1,3	1,5	1,4	1,5	1,6	1,5
Вольный Дон	1,2	1,1	1,1	1,6	1,4	1,3
Полина	1,4	1,7	1,1	1,3	1,5	1,4
Подарок Крыму	1,3	1,4	0,9	1,4	1,5	1,3
Раздолье	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4	1,2
Амбар	1,3	1,3	1,1	1,9	1,3	1,4
Шеф	1,1	0,9	1,1	1,2	1,3	1,1

Продолжение табл. 3

Сорта	Годы исследований					Среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Этюд	1,1	1,2	1,5	1,3	1,5	1,3
Донская степь	1,3	1,0	1,2	1,6	1,6	1,3
Средняя	1,3	1,3	1,1	1,5	1,5	–
HCP ₀₅		0,3	0,4	0,5	0,3	0,2

Масса 1000 зерен – один из компонентных составляющих урожайности и входит в группу основных признаков, по которым ведется селекция пшеницы. Кроме того, масса зерновки наряду с ее выполненностью является признаком качества зерна, во многом определяя его мукомольные свойства (Менибаев и др., 2020).

В условиях Крыма фаза налива зерна часто совпадает с повышенным температурным режимом и даже с суховейными явлениями, что в значительной степени отражается на формировании массы 1000 зерен. Благоприятные условия в период налива 2021–2023 гг. способствовали формированию зерна пшеницы с массой 1000 семян более 40 г, в 2019 и 2020 гг.

в связи с отсутствием осадков и высокой температурой в критические фазы развития озимой пшеницы, масса 1000 зерен составила 36,4 и 36,8 г соответственно (табл. 4). За годы исследований варьирование признака «масса 1000 семян» отмечалось от 31,9 г на сорте Раздолье в условиях 2020 г. до 47,8 г на сорте Жаворонок в 2023 году. Достоверное превышение массы 1000 зерен относительно стандарта Ермак отмечалось в 2021 г. на четырех сортах: Краса Дона, Вольница, Жаворонок и Этюд – на 1,1; 1,3; 3,2 и 2,9 г соответственно (HCP₀₅ = 0,4) и в 2020 и 2023 гг. на сорте Жаворонок – на 6,7 (HCP₀₅ = 3,6) и 5,7 г (HCP₀₅ = 2,2).

Таблица 4. Масса 1000 зерен сортов озимой пшеницы в зависимости от условий года (2019–2023 гг.)
Table 4. 1000-grain weight of winter wheat varieties depending on year conditions (2019–2023)

Сорта	Годы исследований					Среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Ермак, st	36,8	37,9	42,8	42,1	42,1	40,3
Краса Дона	40,3	37,5	43,9	40,0	41,7	40,7
Вольница	39,5	35,5	44,1	43,0	40,9	40,6
Жаворонок	37,6	44,6	46,0	41,0	47,8	43,4
Вольный Дон	35,5	37,9	39,8	37,7	37,4	37,7
Полина	35,7	36,3	39,8	39,0	40,8	38,3
Подарок Крыма	34,5	35,0	39,7	40,7	40,5	38,1
Раздолье	34,0	31,9	41,0	35,3	39,4	36,3
Амбар	35,1	34,1	38,9	41,1	42,4	38,3
Шеф	35,5	34,9	39,8	37,1	41,3	37,7
Этюд	35,9	38,7	45,7	42,5	43,0	41,2
Донская степь	35,9	37,0	41,0	41,1	43,4	39,7
Среднее	36,4	36,8	41,9	40,1	41,7	–
HCP ₀₅		5,5	3,6	0,4	2,4	2,2

В среднем за годы исследований максимальное проявление признака отмечалось на раннеспелых сортах Жаворонок и Этюд – 43,4 и 41,2 г соответственно. Позднеспелые сорта, как правило, имели более низкую массу 1000 зерен. Все перечисленные элементы структуры урожая зависят от сложного комплекса биологических, агротехнических, почвенных и метеорологических условий, совокупность и соотношение которых и образует структуру урожайности озимой пшеницы (Du et al., 2020; Falconnier et al., 2020).

В проведенных нами исследованиях средняя урожайность сортов озимой пшеницы в среднем за эти годы варьировала от 4,30 т/га у сорта Подарок Крыму до 5,38 т/га у сорта Донская степь (табл. 5). Последний ежегодно превышал стандарт Ермак по урожайности, а в 2020 и 2023 гг. превышение над стандар-

том составило 0,80 и 0,84 т/га соответственно, что является достоверным (HCP₀₅ = 0,17 т/га и HCP₀₅ = 0,56 т/га). Близкой к максимальной отмечена урожайность сорта Раздолье, которая составила в среднем за годы исследования 5,33 т/га. В три года из пяти (2019, 2020 и 2023 гг.) сорт Раздолье достоверно превысил стандарт.

Отмечено значительное варьирование урожайности сортов озимой пшеницы по годам, что говорит об основном влиянии на их продуктивность погодных условий. Минимальная урожайность сортов – 3,90 т/га – отмечалась в условиях 2020-го, наиболее неблагоприятного за период исследований года. В 2019, 2022 и 2023 гг. средняя урожайность сортов озимой пшеницы составила 5,34; 5,18 и 5,26 т/га соответственно.

Таблица 5. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы селекции АНЦ «Донской» в разные по условиям выращивания годы, т/га
Table 5. Productivity of winter common wheat varieties developed by the ARC "Donskoy" in years with different growing conditions, t/ha

Сорта	Годы исследований					Среднее
	2019	2020	2021	2022	2023	
Ермак, st	5,38	3,70	4,99	5,68	5,10	4,97
Краса Дона	5,13	4,22	5,16	4,06	6,31	4,98
Вольница	5,03	3,85	3,97	5,35	5,90	4,82
Жаворонок	5,22	3,64	4,70	4,83	5,79	4,84
Вольный Дон	5,32	3,70	4,86	4,91	5,38	4,83
Полина	5,39	2,91	4,67	4,38	4,88	4,45
Подарок Крыму	5,03	3,08	3,99	3,98	5,42	4,30
Раздолье	5,86	4,16	5,17	5,76	5,71	5,33
Амбар	5,27	3,49	3,84	6,03	5,30	4,79
Шеф	5,48	4,43	4,72	5,74	5,75	5,22
Этюд	5,47	5,15	3,18	5,51	5,65	4,99
Донская степь	5,49	4,50	5,06	5,89	5,94	5,38
Среднее	5,34	3,90	4,52	5,18	5,26	–
HCP ₀₅		0,20	0,17	0,23	0,28	0,56

По результатам корреляционного анализа были обнаружены высокие положительные корреляционные связи между показателями урожайности и густотой продуктивного стеблестоя на сортах Амбар ($r = 0,90$), Раздолье ($r = 0,77$), Ермак ($r = 0,68$); между урожайностью и массой зерна с колоса на сортах Донская

степь ($r = 0,83$), Шеф ($r = 0,76$) и Ермак ($r = 0,72$) (табл. 6). Высоких корреляционных связей между урожайностью и массой 1000 зерен не выявлено. Теоретическое значение критерия существенности на 5 %-м уровне значимости составляет 1,99.

Таблица 6. Корреляционный анализ сортов озимой мягкой пшеницы с показателями структуры урожая (2019–2023 гг.)
Table 6. Correlation analysis of winter common wheat varieties with yield structure indicators (2019–2023)

Сорт	Элементы структуры урожая					
	густота продуктивного стеблестоя, шт./м ²		масса зерна с колоса, г		масса 1000 зерен, г	
	коэффициент корреляции	*T _{Г05}	коэффициент корреляции	*T _{Г05}	коэффициент корреляции	*T _{Г05}
Ермак, st	0,68	2,63	0,72	2,90	0,38	1,16
Краса Дона	-0,29	1,31	0,42	1,31	0,57	1,98
Вольница	0,38	0,15	0,29	0,78	0,41	1,26
Жаворонок	0,33	0,99	-0,08	-0,24	-0,36	-1,08
Вольный Дон	0,38	1,15	-0,24	-0,68	-0,02	-0,06
Полина	0,64	2,35	-0,64	-2,33	0,2	0,57
Подарок Крыму	-0,05	-0,14	-0,26	-0,77	0,26	0,76
Раздолье	0,77	3,38	0,15	0,42	0,45	1,43
Амбар	0,90	5,88	0,61	2,17	0,49	1,59
Шеф	0,37	1,14	0,76	3,29	0,26	0,77
Этюд	0,27	0,79	-0,26	-0,77	-0,43	-1,35
Донская степь	0,59	2,07	0,83	4,23	0,48	1,56

Примечание. *T_{Г05} – критерий существенности коэффициента корреляции.

Выводы. Изучение сортов озимой пшеницы селекции АНЦ «Донской» выявило их разную реакцию на контрастные погодные условия Крыма от ранних периодов роста и развития растений до формирования основных показателей продуктивности.

Максимальная густота стеблестоя растений у всех сортов наблюдалась в наиболее благоприятном 2022 г. (в среднем по сортам 591 шт./м²). Несколько меньше продуктивных стеблей на квадратном метре отмечалось в 2023 и 2021 гг. (440 и 470 шт./м²) и значитель-

но меньше (в среднем по сортам 354 шт./м²) в 2019 году. Масса зерна колоса также варьировала в зависимости от погодных условий и плотности стеблестоя. В 2022 и 2023 гг., наиболее благоприятных, она составляла 1,5 г, в менее благоприятные годы – 1,3 и 1,1 г.

В неблагоприятных условиях 2020 г. средняя урожайность сортов составила 3,90 т/га; в 2019, 2022 и 2023 гг. она превысила 5,0 т/га. За годы исследований максимальную урожайность формировали сорта Донская степь – 5,38 т/га и Раздолье – 5,33 т/га.

Урожайность сорта Донская степь в значительной степени коррелировала с массой зерна с колоса ($r = 0,83$), сорта Раздолье – с густотой продуктивного стеблестоя ($r = 0,77$).

Библиографические ссылки

1. Агрокліматичний довідник по Автономній Республіці Крим (1986–2005 рр.): довідкове видання / за ред. О. І. Прудка та Т. І. Адаменко. Сімферополь: ЦГМ в АРК, 2011. 344 с.
2. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Высокопродуктивный сорт яровой мягкой пшеницы Maestro для Центрального Нечерноземья // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 2. С. 21–24. DOI: 10.30850/vrsn /2022/2/21-24
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и дополн. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Зеленева Ю. В., Аблова И. Б., Судникова В. П., Мохова Л. М., Конькова Э. А. Морфолого-культуральные свойства возбудителей септориозов зерновых культур из различных агроклиматических зон Российской Федерации // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 4. С. 27–32. DOI: 10.31857/S2500262722040056
5. Зеленева Ю. В., Аблова И. Б., Судникова В. П., Мохова Л. М., Конькова Э. А. Видовой состав возбудителей септориозов пшеницы в европейской части России и идентификация генов-эффекторов SNTOXA, SNTOXI и SNTOX3 // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, № 6. С. 441–447. DOI: 10.31857/S0026364822060113
6. Иванова И. Ю., Ильина С. В. Вариабельность хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2(374). С. 53–55. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12030
7. Кошеляев В. В., Кошеляева И. П., Гурьянова Н. М. Особенности формирования элементов структуры урожая у сортов озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // Нива Поволжья. 2021. № 2(59) С. 46–53. DOI: 10.36461/NP.2021.59.2.010
8. Мединец, В. Д. Экологический эффект ВВВВ и урожай // Зерно. 2010. № 10. С. 32–36.
9. Менибаев А. И., Зуева А. А., Шевченко С. Н. Наследование признака «масса 1000 зерен» яровой мягкой пшеницы в диаллельных скрещиваниях // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3(51). С. 98–104. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-98-104
10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 329 с.
11. Половицкий И. Я., Гусев П. Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия. Симферополь: Таврия, 1987. 151 с.
12. Положихина М. А. Продовольственная безопасность России в условиях изменения климата // Экономические и социальные проблемы России. 2021. № 1. С.45–65. DOI: 10.31249/espr / 2021. 01.03
13. Самофалова Н. Е., Дубинина О. А., Самофалов А. П., Иличкина Н. П. Роль метеофакторов в формировании продуктивности озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России 2019. № 5(65). С. 18–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23
14. Сандухадзе, Б. И. Селекция озимой пшеницы – важнейший фактор повышения урожайности и качества // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 11. С. 4–6.
15. Du Y. L., Xi Y., Cui T., Anten N. P., Weiner J., Li X., Li F. M. Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat // Field Crops Research. 2020. Vol. 257, Article number: 107930.
16. Falconnier G. N., Vermue A., Journet E. P., Christina M., Bedoussac L., Justes E. Contrasted response to climate change of winter and spring grain legumes in southwestern France // Field Crops Research. 2020. Vol. 259, Article number: 107967.

References

1. Agroklimatichnii dovidnik po Avtonomnii Respublitsi Krim (1986–2005 rr.): dovidkove vidannya [Agroclimatic guide for the Autonomous Republic of Crimea (1986–2005): reference edition] / za red. O. I. Prudka ta T. I. Adamenko. Simferopol': TsGM v ARK, 2011. 344 s.
2. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Vysokoproduktivnyi sort yarovoi myagkoi pshenitsy Maestro dlya Tsentral'nogo Nечernozem'ya [A highly productive spring common wheat variety 'Maestro' for the Central Non-Blackearth region] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoy nauki. 2022. № 2. S. 21–24. DOI: 10.30850/vrsn /2022/2/21-24
3. 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 dopoln. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
4. Zeleneva Yu. V., Ablova I. B., Sudnikova V. P., Mokhova L. M., Kon'kova E. A. Morfologo-kul'tural'nye svoistva vozбудitelei septoriozov zernovykh kul'tur iz razlichnykh agroklimaticheskikh zon Rossiiskoi Federatsii [Morphological and cultural properties of septoria pathogens of grain crops from various agroclimatic zones of the Russian Federation] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2022. № 4. S. 27–32. DOI: 10.31857/S2500262722040056
5. Zeleneva Yu. V., Ablova I. B., Sudnikova V. P., Mokhova L. M., Kon'kova E. A. Vidovoi sostav vozбудitelei septoriozov pshenitsy v evropeiskoi chasti Rossii i identifikatsiya genov-effektorov SNTOXA, SNTOXI i SNTOX3 [Varietal composition of wheat septoria blight pathogens in the European part of Russia and identification of effector genes SNTOXA, SNTOXI and SNTOX3] // Mikologiya i fitopatologiya. 2022. T. 56, № 6. С. 441–447. DOI: 10.31857/S0026364822060113
6. Ivanova I. Yu., Il'ina S. V. Variabel'nost' khozyaistvenno tsennykh priznakov yarovoi myagkoi pshenitsy [Variability of economically valuable traits of spring common wheat] // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2020. № 2(374). S. 53–55. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-12030

7. Koshelyaev V. V., Koshelyaeva I. P., Gur'yanova N. M. Osobennosti formirovaniya elementov struktury urozhaya u sortov ozimoi pshenitsy pri razlichnykh urovnyakh mineral'nogo pitaniya [Features of the formation of yield structure elements in winter wheat varieties at different levels of mineral nutrition] // Niva Povolzh'ya. 2021. № 2(59) S. 46-53. DOI: 10.36461/NP.2021.59.2.010
8. Medinets, V. D. Ekologicheskii effekt VVVV i urozhai [Ecological effect of VVVV and harvest] // Zerno. 2010. № 10. S. 32–36.
9. Menibaev A. I., Zueva A. A., Shevchenko S. N. Nasledovanie priznaka «massa 1000 zeren» yarovoi myagkoi pshenitsy v diallel'nykh skreshchivaniyakh [Inheritance of the trait '1000-grain weight' of spring common wheat in diallel crossings] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudar-stvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2020. № 3(51). S. 98–104. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-98-104
10. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M., 2019. 329 s.
11. Polovitskii I. Ya., Gusev P. G. Pochvy Kryma i povyshenie ikh plodorodiya. Simferopol' [Soils of Crimea and improvement of their fertility]: Tavriya, 1987. 151 s.
12. Polozhikhina, M. A. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Rossii v usloviyakh izmeneniya klimata [Food security of Russia in the context of climate change] // Ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Rossii. 2021. № 1. S. 45–65. DOI: 10.31249/espr / 2021. 01.03
13. Samofalova N. E., Dubinina O. A., Samofalov A. P., Ilichkina N. P. Rol' meteofaktorov v formirovanii produktivnosti ozimoi tvrdoi pshenitsy [The role of meteorological factors in formation of winter durum wheat productivity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii 2019. № 5(65). S. 18–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23
14. Sandukhadze, B. I. Seleksiya ozimoi pshenitsy – vazhneishii faktor povysheniya urozhainosti i kachestva [Winter wheat breeding is the most important factor in improving productivity and quality] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2010. № 11. S. 4–6.
15. Du Y. L., Xi Y., Cui T., Anten N. P., Weiner J., Li X., Li F. M. Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat // Field Crops Research. 2020. Vol. 257, Article number: 107930.
16. Falconnier G. N., Vermue A., Journet E. P., Christina M., Bedoussac L., Justes E. Contrasted response to climate change of winter and spring grain legumes in southwestern France // Field Crops Research. 2020. Vol. 259, Article number: 107967.

Поступила: 13.05.24; доработана после рецензирования: 28.06.24; принята к публикации: 01.07.24.

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. Радченко Л. А. – концептуализация исследований, анализ данных и подготовка рукописи; Аверченко Т. Л. – закладка опытов, проведение учетов и наблюдений, статистическая обработка данных; Марченко Д. М. – концептуализация и проектирование исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОТБОР МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПАСПОРТИЗАЦИИ *TRITICUM AESTIVUM*

М. А. Самарина^{1,2}, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий и молекулярного сопровождения селекции зерновых и зернобобовых культур; младший научный сотрудник лаборатории генетики и пребридинга, Samarina.homa@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9102-4208;

Д. С. Ульянов^{1,2}, младший научный сотрудник лаборатории цифрового фенотипирования для селекции растений; младший научный сотрудник лаборатории генетики и пребридинга, uldas1508@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5880-5931;

Т. Д. Мохов^{1,2}, младший научный сотрудник лаборатории цифрового фенотипирования для селекции растений; младший научный сотрудник лаборатории генетики и пребридинга, Timmikh@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0005-8893-7424;

Я. С. Меглицкая^{1,2}, младший научный сотрудник лаборатории цифрового фенотипирования для селекции растений; младший научный сотрудник лаборатории генетики и пребридинга, yanameg20@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1529-2340;

П. Ю. Крупин^{1,2}, кандидат биологических наук, заведующей лабораторией генетических технологий и молекулярного сопровождения селекции зерновых и зернобобовых культур; младший научный сотрудник лаборатории генетики и пребридинга, iab@iab.ac.ru, ORCID ID: 0000-0001-6858-3941;

Г. И. Карлов¹, доктор биологических наук, академик РАН, профессор, директор, karlov@iab.ac.ru, ORCID ID: 0000-0002-9016-103X;

П. Н. Харченко¹, доктор биологических наук, академик РАН, профессор, заведующий отделом клеточной и геномной инженерии; научный руководитель, kharchenko@iab.ac.ru, ORCID ID: 0009-0008-7054-8801;

С. И. Воронов², доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор, vsi08@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8103-3909;

Н. В. Давыдова², доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции и первичного семеноводства яровой пшеницы, davnat58@yandex.ru;

М. Г. Дивашук^{1,2}, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией генетики и пребридинга; руководитель Курчатовского геномного центра, divashuk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6221-3659

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: iab@iab.ac.ru

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Исследовательский Центр «Немчиновка», 143026, Московская область, г.п. Одинцово, р. п. Новоивановское, ул. Агрехимиков, д. 6; e-mail: mosniish@yandex.ru

Согласно закону «О семеноводстве» для всех сортов или гибридов, включаемых в Госреестр, предусматривается выдача генетических паспортов, а также создание перечня родов и видов растений, производство которых направлено на обеспечение продовольственной безопасности. Однако использование морфологических признаков не позволяет различать генетически близкие образцы, выявлять скрытую генетическую изменчивость и обеспечивать контроль однородности исходного материала. В связи с этими ограничениями целью данной работы являлась разработка подходов для отбора молекулярно-генетических микросателлитных маркеров (SSR-маркеров) для дифференциации сортов мягкой пшеницы. В соответствии с заявленной целью нами был проведен обзор литературы в части методов генетической паспортизации и оценки разнообразия яровой мягкой пшеницы на основе полиморфизма микросателлитных локусов, сформирован набор сборок генома *Triticum aestivum* из базы данных NCBI Gen Bank. На основе литературных данных были выбраны наиболее полиморфные SSR-маркеры с использованием созданного нами алгоритма. Проведенный с помощью биоинформатических методов анализ баз данных SSR-маркеров в геноме мягкой пшеницы позволил создать минимальный дискриминирующий набор из 20 маркеров, которые способны детектировать 419 различных аллелей у *Triticum aestivum*. Полученные результаты закладывают необходимую теоретическую основу для проведения дальнейших практических исследований.

Ключевые слова. *Triticum aestivum* L., SSR-маркеры, микросателлитные маркеры, мягкая пшеница, генотипирование.

Для цитирования: Самарина М. А., Ульянов Д. С., Мохов Т. Д., Меглицкая Я. С., Крупин П. Ю., Карлов Г. И., Харченко П. Н., Воронов С. И., Давыдова Н. В., Дивашук М. Г. Отбор молекулярных маркеров для генетической паспортизации *Triticum aestivum* // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 33–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-33-40.



SELECTION OF MOLECULAR MARKERS FOR GENETIC CERTIFICATION OF *TRITICUM AESTIVUM*

M. A. Samarina^{1,2}, junior researcher of the laboratory for genetic technologies and molecular support of breeding of grain crops and legumes; junior researcher of the laboratory for genetics and pre-breeding, Samarina.homa@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9102-4208;

D. S. Uliyanov^{1,2}, junior researcher of the laboratory for digital phenotyping for plant breeding; junior researcher of the laboratory for genetics and pre-breeding, uldas1508@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5880-5931;

T. D. Mokhov^{1,2}, junior researcher of the laboratory for digital phenotyping for plant breeding; junior researcher of the laboratory for genetics and pre-breeding, Timmokh@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0005-8893-7424;

Ya. S. Metlitskaya^{1,2}, junior researcher of the laboratory for digital phenotyping for plant breeding; junior researcher of the laboratory for genetics and pre-breeding, yanameg20@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1529-2340;

P. Yu. Krupin^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, head of the laboratory for genetic technologies and molecular support of breeding of grain crops and legumes; junior researcher of the laboratory for genetics and pre-breeding, iab@iab.ac.ru, ORCID ID: 0000-0001-6858-3941;

G. I. Karlov¹, Doctor of Biological Sciences, academician of RAS, professor, head, karlov@iab.ac.ru, ORCID ID: 0000-0002-9016-103X;

P. N. Kharchenko¹, Doctor of Biological Sciences academician of RAS, professor, head of the department of cell and gene engineering; scientific supervisor, kharchenko@iab.ac.ru;

S. I. Voronov², Doctor of Biological Sciences, correspondent member of the RAS, professor, head, vsi08@mail.ru;

N. V. Davydova², Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for breeding and primary seed production of spring wheat, davnat58@yandex.ru;

M. G. Divashuk^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, leading researcher, head of the laboratory for genetics and pre-breeding; head of the Kurchatov Genome Center, e-mail: divashuk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6221-3659

¹FSBSI "All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology" (FSBSI ARRIAB), 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 42; e-mail: iab@iab.ac.ru;

²FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka" (FRC "Nemchinovka"), 143026, Moscow region, Odintsovsky region, Odintsovsky district, v. of Novoivanovskoe, Agrokhimikov Str., 6; e-mail: mosniish@yandex.ru

According to the Law "On Seed Production", all varieties or hybrids included in the state register shall be provided for genetic passports, as well as making a list of plants' species, the production of which is aimed at ensuring food security. However, the use of morphological characteristics does not allow distinguishing genetically similar samples, identifying hidden genetic variability and ensuring control of the homogeneity of the initial material. In connection with these limitations, the purpose of the current work was to develop approaches for the selection of molecular genetic microsatellite markers (SSR markers) to differentiate common wheat varieties. In accordance with the purpose, there has been conducted a literature review regarding methods for genetic certification and evaluation of the diversity of spring common wheat based on polymorphism of microsatellite loci, and there has been generated a set of *Triticum aestivum* genome assemblies from the NCBI Gen Bank. Based on the literature data, there have been selected the most polymorphic SSR markers using the invented algorithm. The analysis of databases of SSR markers in the genome of common wheat using bioinformatics methods allowed establishing a minimal discriminatory set of 20 markers that can detect 419 different alleles in *Triticum aestivum*. The results obtained can become the necessary theoretical foundation for further practical research.

Keywords. *Triticum aestivum* L., SSR-маркеры, microsatellite markers, common wheat, genotyping.

Введение. Пшеница играет важную роль в обеспечении продовольствием населения планеты, а также является одной из самых распространенных сельскохозяйственных культур в мире. В питании человека мягкая пшеница выступает в роли источника крахмала, белка, витаминов и минеральных элементов.

Снижение роста урожая продовольственных культур в мире приводит к необходимости развития производства пшеницы, в первую очередь создания новых сверхпродуктивных и устойчивых к различным стрессам сортов. Для этого необходимо производить поиск и включение в селекционный процесс новых перспективных источников хозяйственно ценных признаков из мирового генофонда.

Паспортизация и идентификация сортов и гибридов является актуальной задачей в современной селекционной работе. Их иденти-

фикация позволяет предотвратить нарушение авторских прав при создании и реализации сортов и гибридов различных сельскохозяйственных культур.

Однако зачастую идентификация сортов, линий и гибридов с использованием морфологических признаков имеет низкую эффективность из-за невозможности дифференцировать близкие по происхождению организмы и выявить скрытую генетическую изменчивость. Кроме того, число морфологических признаков ограничено, и они не всегда стабильны.

Создание базы сортов с известной генетической структурой и возможность их идентификации позволят использовать в селекции родительские формы с лучшей урожайностью и качеством продукции, а также устойчивостью к болезням и абиотическим стрессам.

Наличие генетического полиморфизма является основой для классификации и идентификации сортов, что, в свою очередь, позволяет не только повысить эффективность селекции и семеноводства, но и улучшить технологичность производства, связанного с переработкой сельскохозяйственной продукции (Митрофанова и др., 2009).

В качестве инструмента могут выступать микросателлитные маркеры, которые широко используются для исследования генетического разнообразия. Микросателлиты (простые повторяющиеся последовательности – SSR) – короткие некодирующие последовательности ДНК длиной 1–6 нуклеотидов, повторяющиеся до нескольких десятков раз и расположенные в разных частях генома. Они получили широкое распространение из-за их простоты, высокого уровня полиморфизма (Wang et al., 2014), высокой воспроизводимости, кодоминантной наследуемости, равномерного распределения по хромосомам при правильном подборе. В последние 40 лет микросателлитный анализ является популярной темой научных работ, так как находит применение не только в паспортизации сельскохозяйственных животных, но и является общепринятым методом генетической идентификации человека.

Важным преимуществом использования SSR-маркеров является возможность различать внутри полиморфного сорта отдельные биотипы. Различные биотипы обеспечивают экологическую пластичность сорта, однако при этом по морфологическим признакам они могут не отличаться, что усложняет задачу по их идентификации. В связи с этим использование микросателлитных маркеров может упростить оценку селекционных достижений на ООС, особенно это важно для культур, идентифицировать которые традиционными методами затруднительно, например, винограда (Фомина и др., 2014). Известно, что SSR подходят для анализа генетического разнообразия и идентификации генотипов у самоопыляемых видов, таких как пшеница, поэтому SSR-маркеры ранее уже были использованы для оценки разнообразия в генетическом материале пшеницы элитных линий, сортов.

Кроме того, SSR-маркеры представляют собой ценный инструмент для анализа генетиче-

ского разнообразия растений, включая сою, ячмень, пшеницу и др.

SSR-маркеры зарекомендовали себя как надежный и эффективный способ характеристики генетических ресурсов мягкой пшеницы (Пискарев и Бойко, 2015).

Согласно базе данных «Triticum aestivum SSR» (TaSSRDdb) для гексаплоидного генома пшеницы сегодня известно более 450 тысяч SSR-маркеров. Этот геномный ресурс можно использовать для картирования сцепления, анализа разнообразия, идентификации сортов, тестирования на отличимость, однородность и стабильность (ООС) и контроля чистоты семян. Такой большой ассортимент требует применения биоинформатического анализа при подборе минимального дискриминирующего набора.

Схема работы с микросателлитными маркерами, описанная в большинстве работ, включая Фомина и др. (2014), подразумевает многоэтапное пошаговое исследование образцов с использованием специфических праймеров и дальнейшим биоинформатическим анализом. Однако такая схема может быть неэффективна из-за трат времени на постановку реакций и средств, требующихся в том числе и на синтез специфических праймеров.

Поэтому для повышения эффективности генотипирования является актуальной и практически востребованной задачей создание минимального дискриминирующего набора маркеров с высокой степенью полиморфизма.

Таким образом, целью нашей работы является разработка алгоритма, который позволит эффективно анализировать большие объемы данных по микросателлитным маркерам и отбирать наиболее информативные.

Материалы и методы исследований. Исходные данные для отбора минимального дискриминирующего набора SSR-маркеров. В литературную подборку вошли как отечественные статьи (Митрофанова, 2012), так и зарубежные исследования (Wang et al., 2014) по данной теме, которые стали основными источниками анализируемых локусов. Их информативность оценивалась на 17 предварительно найденных аннотированных сборках генома *Triticum aestivum* из базы NCBI GenBank (National Center for Biotechnology Information) (табл. 1).

Таблица 1. Геномные сборки *Triticum aestivum*
Table 1. Genome assemblies of *Triticum aestivum*

Код сборки в NCBI	Название сборки	Культурный сорт	Общая длина последовательности	Уровень сборки	Дата публикации сборки
GCA_018294505.1	IWGSC CS RefSeq v2.1	Chinese Spring	14566502436	Chromosome	2021-05-06
GCA_910594105.1	Tae_Kariega_v1		14677204660	Chromosome	2021-12-19
GCA_937894285.1	Triticum_aestivum_Renan_v2.1		14195643615	Chromosome	2022-05-03
GCA_907166925.1	wheat_cv_fielder_v1_assembly	Fielder	14702880414	Chromosome	2021-07-14
GCA_918797515.1	wheat_cv_attraktion_v1	Attraktion	14679377615	Chromosome	2022-06-24
GCA_025895885.1	ASM2589588v1	Aikang58	14752023501	Chromosome	2022-10-31
GCA_903994165.1	10wheat_assembly_spelt	PI190962 (Spelt)	14439018734	Chromosome	2020-08-15
GCA_903993985.1	10wheat_assembly_arinaLrFor	ArinaLrFor	14645464107	Chromosome	2020-08-06

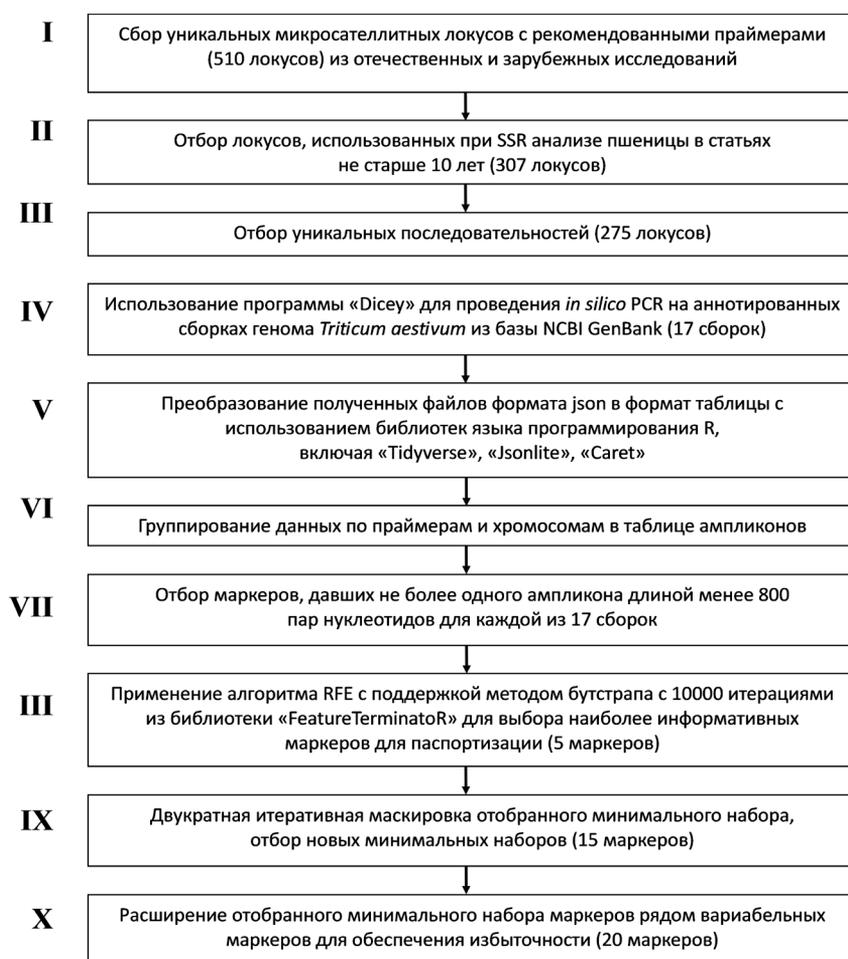
Продолжение табл. 1

Код сборки в NCBI	Название сборки	Культурный сорт	Общая длина последовательности	Уровень сборки	Дата публикации сборки
GCA_903994185.1	10wheat_assembly_sy_mattis	SY Mattis	14884612126	Chromosome	2020-08-20
GCA_903993975.1	10wheat_assembly_lancer	LongReach Lancer	14281318419	Chromosome	2020-08-06
GCA_903994175.1	10wheat_assembly_mace	Mace	14350847906	Chromosome	2020-08-14
GCA_904066035.1	10wheat_assembly_norin61	Norin 61	14910390598	Chromosome	2020-09-03
GCA_903994155.1	10wheat_assembly_stanley	CDC Stanley	14463524036	Chromosome	2020-08-20
GCA_903994195.1	10wheat_assembly_julius	Julius	14385030226	Chromosome	2020-08-15
GCA_903995565.1	10wheat_assembly_landmark1	CDC Landmark	14433190783	Chromosome	2020-08-22
GCA_903993795.1	10wheat_assembly_jagger	Jagger	14538313898	Chromosome	2020-08-06
GCA_951799155.1	NIAB Elite MAGIC Alchemy	Alchemy	15334867051	Chromosome	2023-06-29

Программное обеспечение для биоинформатического анализа маркеров. Собранная нами из литературы (Wang et al., 2014; Митрофанова, 2012) база маркеров содержала 275 уникальных локусов с праймерами и использовалась для оценки информативности маркеров посредством виртуальной симуляции ПЦР (*in silico* ПЦР) с использованием программы «Dicey» (Rausch et al., 2020) на найденных сборках (17 сборок) генома *Triticum aestivum*. Полученные данные были обработаны с использованием библиотек R, включая «Tidyverse» (Wickham et al., 2019), «Jsonlite», «Caret» (Khun et al., 2020) и «FeatureTerminator» (Hutson, 2023). Отбор маркеров проводили

методами Recursive Feature Elimination (RFE) с бутстрапом с 10000 итерациями в реализации библиотеки «FeatureTerminator». Программно отбор был реализован с использованием языков программирования Bash и R для автоматизации отбора. Для визуализации результатов использовали библиотеку ggplot.

Результаты и их обсуждение. Для упрощения биоинформатического анализа больших массивов существующих на сегодняшний день SSR-маркеров мягкой пшеницы и отбора минимального дискриминирующего набора нами был разработан собственный алгоритм анализа, реализованный на языках программирования Bash и R (см. рисунок).



Алгоритм отбора дополненного минимального набора SSR маркеров
Algorithm for selecting an augmented minimum set of SSR markers

Он представляет собой набор этапов и инструментов, расположенных последовательно, ускоряющих и автоматизирующих процесс анализа, обрабатывающих объемы данных и представляющих собой быстрый и воспроизводимый способ получения результатов. Применение алгоритма в анализе молекулярных маркеров значительно упрощает и ускоряет исследование и позволяет сосредоточиться на интерпретации результатов. Результатом выполнения алгоритма является набор праймеров для отобранных маркеров, оцененных с помощью виртуальной симуляции ПЦР. Полный код алгоритма с комментариями, содержащими подробности про различные его этапы, содержится на сайте <https://github.com/Stathmin/minimal-marker>.

Этап I разработки набора дискриминирующих маркеров заключался в сборе и анализе существующих SSR-маркеров из литературных источников. Последующие этапы осуществляются с использованием командной строки с помощью авторского кода. Нами было отобрано 510 маркеров с рекомендованными праймерами.

Наборы SSR-маркеров могут терять свою актуальность из-за изменения их структуры, поэтому на этапе II нами были отобраны маркеры, использованные для SSR анализа пшеницы в статьях не старше 10 лет. В итоге был получен набор из 307 маркеров.

Так как маркеры в различных источниках могут дублироваться, на этапе III для дальнейшего анализа мы отобрали только уникальные последовательности. В результате после отсеивания повторяющихся маркеров осталось 275 наиболее полиморфных SSR-маркеров из различных литературных источников.

На этапе IV для оценки работы маркеров был сформирован набор из 17 аннотированных сборок генома *Triticum aestivum* из базы данных NCBI Gen Bank (табл. 1). В связи с тем, что лабораторная оценка большого количества маркеров на наборе из множества сортов требует больших затрат труда, была проведена компьютерная симуляция ПЦР (*in silico* ПЦР). Результаты были получены в виде файлов формата json.

Формат json требует установки дополнительных библиотек для чтения программ, написанными на языке R. Поэтому для обработки полученных файлов на этапе V мы использо-

вали библиотеки языка программирования R. С помощью этих библиотек собранные данные были преобразованы в удобный формат csv.

На VI этапе для систематизации данных маркеры были сгруппированы по праймерам и хромосомам в полученных таблицах ампликонов. Это позволило упростить дальнейший анализ данных.

Разработанный набор SSR-маркеров в будущем может быть использован для проведения фрагментного анализа. Размер ампликона для фрагментного анализа не должен превышать 1200 нуклеотидов. Поэтому на этапе VII отбирались только те маркеры, которые дали не более одного ампликона длиной менее 800 пар нуклеотидов для каждой из 17 сборок.

Для того чтобы дискриминирующий набор праймеров содержал как можно меньшее количество маркеров, требуется отобрать наиболее информативные из них. Для этого на этапе VIII применялся алгоритм RFE (recursive feature elimination) с поддержкой методом бутстрапа с 10000 итерациями из библиотеки «FeatureTerminator». На данном этапе был получен минимальный набор маркеров для паспортизации (5 маркеров), который успешно различал все 17 сортов.

Чтобы обеспечить возможность паспортизации теоретических генотипов, которые не представлены в открытом доступе, на этапе IX проводился отбор новых минимальных наборов. Уже отобранные маркеры подверглись двукратной итеративной маскировке для исключения из анализа. Было дополнительно отобрано 10 информативных маркеров.

Так как зачастую при проведении ПЦР могут происходить ошибки, связанные с несрабатыванием маркеров, необходимо расширять минимальный дискриминирующий набор рядом высокополиморфных маркеров для обеспечения избыточности. Для этого на этапе X отобранный набор маркеров был дополнен 5 маркерами.

Разработанный нами набор маркеров отличается высоким уровнем полиморфизма каждого маркера, а также высокой воспроизводимостью и равномерным расположением по хромосомам. 20 маркеров расположены на 15 хромосомах и представлены во всех субгеномах *Triticum aestivum*, они могут детектировать 419 различных аллелей (табл. 2).

Таблица 2. Микросателлитные локусы, используемые для формирования минимального дискриминирующего набора SSR-маркеров
Table 2. Microsatellite loci used to form a minimal discriminatory set of SSR markers

Локус	Хромосома	Координата в сборке генома, bp	Структура повтора	Размер ампликона, bp	Количество аллелей	PIС
SSR1	1B	78879608-78879626	(GA)18	96	16	0.85
SSR2	4B	455690490-455690513	(CA)28	110	21	0.8
SSR3	1A	466753490-466753506	(CA)21	117	18	0.8
SSR4	3A	455690490-455690513	(CA)18	127	11	0.78
SSR5	5A	472158367-472158388	(GA)26	129	23	0.87
SSR6	7B	266463-266485	(CA)17	130	11	0.7
SSR7	6D	101438006-101438028	(CT)16	131	13	0.8

Продолжение табл. 2

Локус	Хромосома	Координата в сборке генома, bp	Структура повтора	Размер ампликона, bp	Количество аллелей	PIC
SSR8	1A	478529771-478529791	(GA)20	138	25	0.78
SSR9	2D	515210168-515210190	(GA)27	140	40	0.94
SSR10	2B	112251859-112251879	(CT)11(CA)18	152	17	0.87
SSR11	3D	110040859-110040878	(CT)26	153	25	0.92
SSR12	7B	171733011-171733032	(GA)2GC(GA)33	181	24	0.9
SSR13	2D	22183434-22183455	(CT)21	184	21	0.75
SSR14	3A	721870736-721870756	(CT)16(CA)13	191	14	0.66
SSR15	2B	49239665-49239682	(GT)30	193	17	0.87
SSR16	5D	8864559-8864579	(CT)22	204	17	0.9
SSR17	2A	712796006-712796026	(GA)37	226-230	34	0.9
SSR18	5B	8249313-8249332	(CT)16(CA)20	241	19	0.9
SSR19	7D	52079448-52079626	(CT)24	256	20	0.92
SSR20	3B	70079328-70079626	(GA)27	376	33	0.9

За последние годы по всему миру проведено значительное количество исследований разнообразия мягкой пшеницы с использованием SSR-маркеров, затрагивающих сотни различных сортов (Клыков и др., 2017; Адылова А. Т., 2018; Пискарев и Бойко, 2015; Портников И. В. и др., 2020). Результаты исследований показывают стабильную высокую разрешающую способность SSR-маркеров в оценке генетического разнообразия.

На сегодняшний день доступны как сотни хорошо изученных SSR-маркеров, так и тысячи потенциально новых маркеров, которые могут быть использованы для различных целей, включая картирование сцепления, анализ разнообразия, идентификацию сорта. Множество проведенных исследований (Клыков и др., 2017; Адылова, 2018; Пискарев и Бойко, 2015; Портников и др., 2020; Гучетль и Челюстникова, 2020; Колобова и др., 2017) подтверждает высокую разрешающую способность и стабильность SSR-маркеров, а также показывает большой научный интерес и возможность дальнейшего использования полученных с помощью SSR-маркеров данных в селекции.

В настоящее время онлайн доступны данные по более чем 1700 последовательностям SSR-маркеров, которые были охарактеризованы и локализованы на хромосомах для 27 доступных сборок пшеницы из базы данных GrainGens (<https://wheat.pw.usda.gov>). Их высокая информативность, равномерное распределение по всем геномам пшеницы и удобство использования показывают, что SSR-маркеры являются полезным инструментом, что подтверждает ценность проведенного исследования. Полученные нами результаты позволяют не только актуализировать данные по микросателлитным маркерам, но и предлагают минимальный набор маркеров для генетической дифференциации сортов. Кроме того, предложенный нами биоинформатический алгоритм должен упростить анализ данных по SSR-маркерам для важных сельскохозяйственных культур.

Развитие технологии и использование SSR-маркеров для изучения мягкой пшеницы яв-

ляется актуальной задачей и темой многих исследований в мировом научном сообществе. В статье Адылова и др. (2018) описана разработка набора из 36 SSR-маркеров, которые позволили различить 141 аллель у сортов *Triticum aestivum*. Оценка генетического разнообразия белорусских и зарубежных сортов гексаплоидной пшеницы, описанная в работе Фомина и др. (2014), потребовала использования 16 различных SSR-маркеров, которые располагаются на разных хромосомах пшеницы. В результате проведенного исследования был идентифицирован 91 аллель и обнаружено различие в уровнях полиморфизма между сортами зарубежной и белорусской селекции, а также между яровыми и озимыми сортами пшеницы. Наше исследование предлагает более широкий спектр маркеров, однако при этом нам удалось идентифицировать гораздо большее количество аллелей, что говорит о повышенном уровне полиморфизма, разработанного нами набора маркеров.

Другие исследования (Митрофанова и др., 2009) сообщают, что для оценки генетического разнообразия 32 сортов мягкой пшеницы из Узбекистана было необходимо провести разработку 36 SSR-маркеров. Такой набор маркеров может быть затруднителен в обработке, поэтому предложенная нами схема отбора микросателлитных маркеров может помочь получить более полиморфные маркеры, которые смогут получать минимальные дискриминирующие наборы с меньшим количеством маркеров, что потенциально упростит их практическое использование при генотипировании большего количества сортов, а также повысит воспроизводимость результатов исследований. Анализ исследований заставляет задуматься о различиях в достаточном количестве SSR-маркеров для дифференциации сортов, вызванных степенью полиморфизма локусов и зависящих от ряда эволюционно-географических признаков.

Важным вопросом также является сохранение актуальности разработанных наборов SSR-маркеров для паспортизации в связи с активными выпадами либо вставками повто-

ров. Разработанный в статье Wang et al. (2014) метод оценки стабильности сортов пшеницы с использованием генотипирования SSR-маркерами дает возможность прогнозировать стабильность маркеров из оценки гомозиготности. Кроме того, исследования (Митрофанова и др., 2009; Wang et al., 2014) подтверждают надежность разработанных наборов маркеров для паспортизации сортов. Приведенные данные позволяют сделать вывод о стабильности паспортизации с использованием SSR-маркеров.

Как показывает практика, SSR-маркеры часто применяются для оценки популяций и сортов различных сельскохозяйственных растений на наличие генов хозяйственно ценных признаков. В статье Naque et al. (2020) описана разработка 13 молекулярных маркеров на гены засухоустойчивости пшеницы, их использовали для определения 26 генотипов. Также была подтверждена связь SSR-маркеров с генами хозяйственно ценных признаков у культурных растений, таких как *Linum usitatissimum* (Гучетль и Челюстникова, 2020) и *Solanum tuberosum* (Колобова и др., 2017).

Применение разработанного нами алгоритма дает возможность с высокой эффективностью разрабатывать наборы маркеров на гены различных признаков. Кроме того, с помощью нашего алгоритма можно создавать наборы SSR-маркеров для оценки биоразнообразия,

а также для подбора родительских пар удавленных форм для скрещивания. Вместе с тем применение биоинформатической оценки праймеров на эти маркеры позволит оценить характеристики их работы, что в свою очередь упростит поиск новых ассоциаций в популяциях и сортах растений. Разработанные наборы методов биоинформатического анализа данных и подобранный с использованием этих методов набор SSR-маркеров соответствуют современным требованиям генотипирования растений и имеют высокую практическую ценность.

Выводы. Полученные в данной статье результаты могут быть использованы для дальнейшей разработки подходов к паспортизации мягкой пшеницы и других ценных культур на основе SSR-маркеров. Полученный набор молекулярных маркеров может послужить основой для разработки систем защиты результатов интеллектуальной собственности селекционеров. С использованием биоинформатических инструментов и алгоритмов, разработанных в данном исследовании, возможно проведение аналогичных разработок для других ценных сельскохозяйственных культур.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания FGGE-2023-001 «Разработка подходов для генетической паспортизации яровой мягкой пшеницы на уровне геномного разнообразия».

Библиографические ссылки

1. Адылова А. Т., Норбеков Ж. К., Хуршут Э. Э., Никитина Е. В., Кушанов Ф. Н. SSR-анализ геномной ДНК перспективных сортов мягкой озимой пшеницы узбекистанской селекции // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 6. С. 634–639. DOI: 10.18699/VJ18.404
2. Гучетль С. З., Челюстникова Т. А. Генотипирование сортов масличного льна с использованием системы микросателлитных ДНК-маркеров // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 5. С. 531–539. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.531-539
3. Клыклов А. Г., Коновалова И. В., Богдан П. М., Шадрин Д. М., Цзюймэй Ч., Чжан Х., Ма Ш., Чжан Ж. Анализ сортов яровой мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с использованием микросателлитных маркеров // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 5. С. 3–6.
4. Колобова О. С., Малюченко О. П., Шалаева Т. В., Шанина Е. П., Шилов И. А., Алексеев Я. И., Велишаева Н. С. Генетическая паспортизация картофеля на основе мультиплексного анализа 10 микросателлитных маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 1. С. 124–127. DOI: 10.18699/VJ17.230
5. Митрофанова О. П., Стрельченко П. П., Конарев А. В., Балфорьер Ф. Генетическая дифференциация гексаплоидной пшеницы по данным анализа микросателлитных локусов // Генетика. 2009. Т. 45, № 11. С. 1530–1539.
6. Митрофанова, О. П. Генетические ресурсы пшеницы в России: состояние и предселекционное изучение // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16, № 1. С. 10–20.
7. Пискарев В. В., Бойко Н. И. Полиморфизм глиадинкодирующих локусов сортообразцов пшеницы мягкой яровой Сибирского генофонда // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 19–24.
8. Портников И. В., Антонова О. Ю., Митрофанова О. П. Молекулярные маркеры в генетическом анализе скрещиваемости мягкой пшеницы с рожью // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 6. С. 557. DOI: 10.18699/VJ20.649
9. Фомина Е. А., Картель Н. А., Гриб С. И., Кулинкович С. Н., Малышев С. В. Использование микросателлитных маркеров для анализа коллекции сортов пшеницы (*Triticum aestivum*) // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2014. № 3. С. 31–37.
10. Naque M. S., Saha N. R., Islam M. T., Islam M. M., Kwon S.-J., Roy S. K., Woo S.-H. Screening for drought tolerance in wheat genotypes by morphological and SSR markers // Journal of Crop Science and Biotechnology. 2020. Vol. 24, P. 27–39. DOI: 10.1007/s12892-020-00036-7
11. Hutson, G. FeatureTerminator: A package to perform feature removal for statistical and machine learning models [Electronic resource]. URL: <https://github.com/StatsGary/FeatureTerminator> (accessed: 15.10.2023).
12. Kuhn M., Wing J., Weston S., Williams A., Keefer C., Engelhardt A. Package 'caret' // The R Journal. 2020. Vol. 223, № 7. Article number: 48.

13. Rausch T., Fritz M.H.Y., Untergasser A., Bennes V. Tracy: basecalling, alignment, assembly and deconvolution of sanger chromatogram trace files // BMC genomics. 2020. Vol. 21, P. 1–9. DOI: 10.1186/s12864-020-6635-8
14. Wang L. X., Li H. B., Gu T. C., Liu L. H., Pang B. S., Qui J., Zhao C. P. Assessment of wheat variety stability using SSR markers // Euphytica. 2014. Vol. 195, P. 435–452. DOI: 10.1007/s10681-013-1006-z
15. Wickham H., Averick M., Bryan J., Chang W., McGowan L. D. A., François R., Yutani H. Welcome to the Tidyverse // Journal of open source software. 2019. Vol. 4, № 43. Article number: 1686. DOI: 10.21105/joss.01686

References

1. Adylova A. T., Norbekov Zh. K., Khurshut E. E., Nikitina E. V., Kushanov F. N. SSR-analiz genomnoi DNK perspektivnykh sortov myagkoi ozimoi pshenitsy uzbekistanskoi selektsii [SSR-analysis of genomic DNA of promising winter common wheat varieties of Uzbekistan breeding] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 6. S. 634–639. DOI: 10.18699/VJ18.404
2. Guchetl' S. Z., CHelyustnikova T. A. Genotipirovanie sortov maslichnogo l'na s ispol'zovaniem sistemy mikrosatelitnykh DNK-markeroV [Genotyping of oilseed flax varieties using a system of microsatellite DNA markers] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. T. 21, № 5. S. 531–539. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.531-539
3. Kolobova O. S., Malyuchenko O. P., SHalaeva T. V., SHanina E. P., SHilov I. A., Alekseev YA. I., Velishaeva N. S. Geneticheskaya pasportizatsiya kartofelya na osnove multipleksnogo analiza 10 mikrosatelitnykh markerov [Genetic certification of potatoes based on multiplex analysis of 10 microsatellite markers] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selektsii. 2017. T. 21, № 1. S. 124–127. DOI: 10.18699/VJ17.230
4. Mitrofanova O.P., Strel'chenko P.P., Konarev A.V., Balfor'er F. Geneticheskaya differentsiatsiya geksaploidnoi pshenitsy po dannym analiza mikrosatelitnykh lokusov [Genetic differentiation of hexaploid wheat according to the analysis of microsatellite loci] // Genetika. 2009. T. 45, № 11. S. 1530–1539.
5. Mitrofanova, O. P. Geneticheskie resursy pshenitsy v Rossii: sostoyanie i predselektsionnoe izucheniye [Genetic resources of wheat in Russia: state and pre-breeding study] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2012. T. 16, № 1. S. 10–20.
6. Piskarev V. V., Boiko N. I. Polimorfizm gliadinkodiruyushchikh lokusov sortoobraztsov pshenitsy myagkoi yarovoi Sibirskogo genofonda [Polymorphism of gliadin-coding loci of spring common wheat varieties from the Siberian gene pool] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2015. № 6. S. 19–24.
7. Portnikov I.V., Antonova O.YU., Mitrofanova O.P. Molekulyarnye markery v geneticheskom analize skreshchivaemosti myagkoj pshenicy s rozh'yu [Molecular markers in the genetic analysis of the crossbreeding of soft wheat with rye] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selektsii. 2020. T. 24, № 6. S. 557. DOI: 10.18699/VJ20.649
8. Fomina E.A., Kartel' N.A., Grib S. I., Kulinkovich S. N., Malyshev S. V. Ispol'zovanie mikrosatelitnykh markerov dlya analiza kolleksitsii sortov pshenitsy (Triticum aestivum) [Use of microsatellite markers to analyze a collection of wheat varieties (Triticum aestivum)] // Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya biologicheskikh nauk. 2014. № 3. S. 31–37.
9. Haque M. S., Saha N. R., Islam M. T., Islam M. M., Kwon S.-J., Roy S. K., Woo S.-H. Screening for drought tolerance in wheat genotypes by morphological and SSR markers // Journal of Crop Science and Biotechnology. 2020. Vol. 24, P. 27–39. DOI: 10.1007/s12892-020-00036-7
10. Hutson, G. FeatureTerminator: A package to perform feature removal for statistical and machine learning models [Electronic resource]. URL: <https://github.com/StatsGary/FeatureTerminator> (accessed: 15.10.2023).
11. Kuhn M., Wing J., Weston S., Williams A., Keefer C., Engelhardt A. Package 'caret' // The R Journal. 2020. Vol. 223, № 7. Article number: 48.
12. Rausch T., Fritz M. H. Y., Untergasser A., Bennes V. Tracy: basecalling, alignment, assembly and deconvolution of sanger chromatogram trace files // BMC genomics. 2020. Vol. 21, P. 1–9. DOI: 10.1186/s12864-020-6635-8
13. Wang L. X., Li H. B., Gu T. C., Liu L. H., Pang B. S., Qui J., Zhao C. P. Assessment of wheat variety stability using SSR markers // Euphytica. 2014. Vol. 195, P. 435–452. DOI: 10.1007/s10681-013-1006-z
14. Wickham H., Averick M., Bryan J., Chang W., McGowan L. D. A., François R., Yutani H. Welcome to the Tidyverse // Journal of open source software. 2019. Vol. 4, № 43. Article number: 1686. DOI: 10.21105/joss.01686

Поступила: 10.06.24; доработана после рецензирования: 167.07.24; принята к публикации: 16.07.24.

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. Ульянов Д. С. – анализ данных, их интерпретация и сбор данных; Самарина М. А. – анализ данных, их интерпретация и сбор данных; Мохов Т. Д. – сбор данных и подготовка рукописи; Меглицкая Я. С. – сбор данных и подготовка рукописи; Крупин П. Ю. – интерпретация данных и подготовка рукописи; Карлов Г. И. – концептуализация исследования; Харченко П.Н. – концептуализация исследования; Воронов С. И. – подготовка опыта и концептуализация исследования; Давыдова Н. Ю. – подготовка опыта и концептуализация исследования; Дивашук М. Г. – подготовка опыта и концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПИГМЕНТЫ ХЛОРОФИЛЛА И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОДНЫХ РЕЖИМАХ

И. А. Лобунская¹, агроном лаборатории клеточной селекции, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

В. Л. Газе¹, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

Е. Ю. Черпакова¹, агроном лаборатории клеточной селекции, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

Н. В. Яновская¹, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

С. В. Подгорный¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа, ORCID ID: 0000-0002-8438-1327;

Г. М. Зеленская², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и садоводства, zela_06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1537-9207

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 346493, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова; e-mail: agrofak-dgau@yandex.ru

Содержание хлорофилла в флаговом листе является важным признаком засухоустойчивости пшеницы. Понимание регуляторного механизма содержания хлорофилла может ускорить селекцию на устойчивость к засухе. В статье представлены результаты анализа по состоянию пигментного комплекса флаговых листьев образцов озимой мягкой пшеницы и их влияние на урожайность в различных условиях выращивания. Опыты были проведены в 2021–2023 гг. в лаборатории клеточной селекции. Изучалось 11 образцов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Цель работы: выявить возможность использования показателей пигментов фотосинтетического аппарата в качестве признаков, связанных с засухоустойчивостью и высокой урожайностью. Исследования реакции пигментного комплекса растений озимой пшеницы осуществляли в фазы цветения и молочной спелости зерна. Количественное содержание пигмента хлорофилла определяли методом И. Г. Шматько (1976). Испытание сортов на засухоустойчивость на вегетационной площадке – по методу В. В. Маймистова (1988). Проанализировав данные по соотношению содержания хлорофиллов ($a+b$, a/b) и урожайности в условиях засухи по сравнению с оптимальными условиями, выявлены сорта Дончак (98,4, 84,0 и 81,4 %), Разгуляй (83,3, 80,8 и 70,9 %), Флагман (87,9, 76,2 и 82,7 %) и линии 597/18 (98,5, 87,6 и 75,2 %). Выделенные образцы характеризуются высокой сохранностью суммарного пигмента в обе фазы с незначительным снижением урожайности. Линии 1762/17 (43,3 и 79,2 %), 2060/17 (71,1 и 79,2 %), 597/18 (76,1 и 75,2 %) и 1724/18 (75,0 и 79,7 %), сочетающие в себе минимальное снижение урожайности и соотношения хлорофилла a/b , обладают высокой адаптивной способностью в условиях засухи.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, фотосинтетические пигменты, хлорофилл, засухоустойчивость, урожайность.

Для цитирования: Лобунская И. А., Газе В. Л., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Подгорный С. В., Зеленская Г. М. Пигменты хлорофилла и урожайность озимой мягкой пшеницы при различных водных режимах // Зерновое хозяйство России. Т. 16. № 4. С. 41–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-41-49.



CHLOROPHYLL PIGMENTS AND WINTER COMMON WHEAT PRODUCTIVITY UNDER DIFFERENT WATER REGIMES

I. A. Lobunskaya¹, agronomist of the laboratory for cell breeding, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

V. L. Gaze¹, junior researcher of the laboratory for cell breeding, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

E. Yu. Cherpakova¹, agronomist of the laboratory for cell breeding, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

N. V. Yanovskaya¹, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

S. V. Podgorny¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of intensive type, ORCID ID: 0000-0002-8438-1327;

G. M. Zelenskaya², Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of plant production and horticulture, zela_06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1537-9207

¹FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²FSBEI HE “Donskoy State Agricultural University”, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, v. Persianovsky, Krivoshlykov Str., 24; e-mail: agrofak-dgau@yandex.ru

Chlorophyll in a flag leaf is an important indicator of drought resistance of wheat. Understanding the regulatory mechanism of chlorophyll content may accelerate breeding for drought tolerance. The current paper has presented the analysis results of the state of the pigment complex of flag leaves of winter common wheat samples and their effect on productivity under various growing conditions. The trials were carried out in the laboratory for cell breeding in 2021–2023. There were studied 11 winter wheat samples, developed in the FSBSI “ARC “Donskoy”. The purpose of the work was to identify the possibility of using indicators of photosynthetic pigments as traits responsible for drought resistance and high productivity. The study of the reaction of the pigment complex of winter wheat plants was carried out in the flowering phases and milk-ripe stages of grain. The quantitative content of chlorophyll pigment was determined by the I. G. Shmatko method (1976). Varieties' testing for drought resistance on a growing plot was conducted according to the V. V. Maimistov method (1988). Having analyzed the ratio of chlorophyll content ($a+b$, a/b) and productivity under drought conditions in comparison with optimal conditions, there have been identified the varieties ‘Donchak’ (98.4, 84.0 and 81.4 %), ‘Razgulay’ (83.3, 80.8 and 70.9 %), ‘Flagman’ (87.9, 76.2 and 82.7 %) and the line ‘597/18’ (98.5, 87.6 and 75.2 %). The identified samples were characterized by high preservation of the total pigment in both phases with a slight productivity decrease. The lines ‘1762/17’ (43.3 and 79.2 %), ‘2060/17’ (71.1 and 79.2 %), ‘597/18’ (76.1 and 75.2 %) and ‘1724/18’ (75.0 and 79.7 %), which combined a minimal productivity and chlorophyll a/b ratio decrease, had a high adaptability under drought conditions.

Keywords: winter common wheat, variety, photosynthetic pigments, chlorophyll, drought resistance, productivity.

Введение. Фотосинтез является главным источником химической энергии, используемой в метаболических процессах развития растений. Около 50 % урожайности зерна обеспечивает фотосинтетическая активность во флаговых листьях. Стресс от засухи на стадии налива зерна обычное явление для зерновых культур (Амунова и Лисицын, 2019; Yang et al., 2022). Это приводит к ускоренному разрушению хлорофилла в фотосинтетических органах, таких как листья, снижению скорости и эффективности фотосинтеза. Хлорофилл является ключевым элементом для фотосинтеза, который осуществляет поглощение квантов видимой части солнечного спектра и преобразует световую энергию в энергию химической связи (Голева и др., 2016; Газе и др., 2021; Gu et al., 2017).

Функциональные свойства хлорофиллов различны, пигмент хлорофилла a содержится в реакционных центрах фотосистем, и свето-собирающем комплексе, а пигмент хлорофилла b находится в основном в светособирающем комплексе. Величина соотношения хлорофиллов a/b изменяется в зависимости от сорта и условий выращивания растений и в большинстве случаев при оптимальных условиях составляет 4:1 (Калинина и Лящева, 2018; Синеговская и др., 2022). Низкие значения соотношения хлорофилла a/b свидетельствуют об увеличении содержания хлорофилла b , который оказывает экранирующее действие на фотосинтетически активный хлорофилл a , поэтому высокая доля хлорофилла b может характеризовать адаптивные возможности растений. Хлорофилл b увеличивается в концентрации при выращивании растений в условиях абиотического стресса, в этом случае снижение значений отношения пигментов a/b будет свидетельствовать о повышении устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды (Тютерева и др., 2017). Мнения среди исследователей относительно оптимального количества фотосинтетических пигментов в листьях расходятся. Одни ученые считают, что низкая концентрация зеленого пигмента в листьях приводит к снижению светопоглощения и не допускает разрушение фотосинтетического аппарата избытком поглощенной энергии и поэтому может обе-

спечивать его более продуктивную работу (Gu et al., 2017). Другие полагают, что растения с высоким содержанием хлорофилла поглощают больше энергии и, как следствие этого, фотосинтез у них более эффективный (Zhao et al., 2020). Поэтому обладая информацией о количественном содержании и продуктивности их работы, можно дать оценку потенциальной фотохимической активности листьев и прогнозировать урожайность (Лиховидова и др., 2020; Шестакова и др., 2020). Генотипы с высоким содержанием хлорофилла используются в качестве доноров признаков интенсивного нарастания биомассы в результате их роста и развития, а также эффективности фотосинтеза (Гузенко и др., 2024). Исследования позволяют сделать выводы о том, какие пигменты хлорофилла вызывают рост продуктивности, высокую урожайность и могут служить основой для создания моделей новых сортов. Цель работы: выявить возможность использования показателей пигментов фотосинтетического аппарата в качестве признаков, связанных с засухоустойчивостью и высокой урожайностью.

Материалы и методы исследований.

Исследовательская работа была проведена в 2021–2023 гг. в лаборатории клеточной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Материалом исследования служили 11 образцов озимой мягкой пшеницы местной селекции. В качестве стандарта использовали сорт Ермак. Засухоустойчивость образцов озимой мягкой пшеницы определяли по состоянию пигментного комплекса флаговых листьев в фенологические фазы – цветение и молочная спелость зерна. Для определения количественного содержания пигментов фотосинтетического аппарата (хлорофиллов a , b , $a+b$) по методу И. Г. Шматько и др. (1976) использовали среднюю часть пластинок верхних сформировавшихся листьев главного стебля растения массой 0,5 г, в трехкратном повторении. Оптическую плотность растворов определяли на спектрофотометре Implen 80, длина волны хлорофилл a – 665, b – 649, $a+b$ – 654. Концентрацию пигментов рассчитывали по формуле в зависимости от используемого растворителя – 96 %-й этанол (Wintermans, De Mots, 1965):

$$\begin{aligned} \text{Схл. } a \text{ (мг/л)} &= 13,7 \times D 665 - 5,76 \times D 649; \\ \text{Схл. } b \text{ (мг/л)} &= 25,8 \times D 649 - 7,60 \times D 665; \\ \text{Схл. } a+b \text{ (мг/л)} &= 25,1 \times D 654. \end{aligned}$$

Оценка засухоустойчивости вегетирующих растений была проведена в условиях моделированной засухи (различная степень влагообеспеченности), метод В. В. Маймистова и др. (1988) (рис. 1).

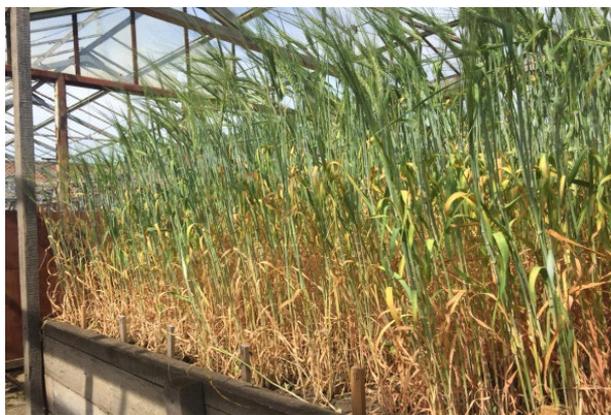


Рис. 1. Вегетационный опыт выращивания сортов пшеницы при различной влагообеспеченности

Fig. 1. Vegetative experience of wheat varieties' growing at different moisture availability

На площадке располагают стеллажи размерами 2 м × 4 м × 0,7 м на 0,6 м от поверхности земли. Делянка имеет 3 ряда площадью 0,45 м² в четырехкратной повторности.

Развитие растений до 4-го этапа органогенеза (формирование колосовых бугорков) проходит в идентичных условиях, затем растения в опытном варианте выращивают в условиях нарастающей засухи (30 % ПВ и ниже), а контроль – при оптимальном увлажнении (70 % ПВ, полив). Фазы развития зерновых колосовых определяли по классификации С. Н. Кулинкович и Е. Н. Кулинкович (2014).

Математическую обработку данных производили по методу Б. А. Доспехова (2014) с использованием программы Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Проведен сравнительный анализ динамики содержания пигментов хлорофилла во флаговом листе растений озимой мягкой пшеницы, выращенных при различной влагообеспеченности. Выявлено, что их количественное содержание в растениях в значительной степени зависит от условий произрастания. Это наблюдалось в наших исследованиях, где содержание хлорофиллов *a* и *b* и их сумма значительно варьировали в течение весенне-летней вегетации. Хлорофиллы *a* и *b* являются основными пигментами фотосинтеза растений. Накопление и соотношение разных форм пигментов в хлоропластах могут служить одним из показателей их фотохимической активности. В листьях главных побегов количество хлорофилла *a* в опыте в фазу цветения варьировало от 1,72 до 2,21 мг/100 г сырого вещества, а к фазе молочной спелости зерна эти значения снизились и составили от 1,30 до 2,25 мг/100 г сырого вещества (табл. 1).

Таблица 1. Динамика содержания хлорофилла *a* и *b* в фазы цветения и молочной спелости зерна, мг/100 г сырого вещества (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 1. Dynamics of chlorophyll *a* and *b* in the flowering phase and milk-ripe stage of grain, mg/100 g of raw material (average for 2021–2023)

Образцы	Фаза цветения			Фаза молочной спелости			Фаза цветения			Фаза молочной спелости		
	Опыт	Контроль	О/К, %	Опыт	Контроль	О/К, %	Опыт	Контроль	О/К, %	Опыт	Контроль	О/К, %
Ермак, st	2,06	2,41	85,5	1,50	1,97	76,1	0,51	0,55	92,7	0,45	0,51	88,2
1762/17	2,19	2,68	81,7	2,25	2,87	78,4	0,53	0,64	82,8	0,53	0,47	112,8
2060/17	1,72	2,78	61,9	1,30	2,72	47,8	0,51	0,71	71,8	0,49	0,72	68,1
Аксай	2,21	2,66	83,1	1,93	2,59	74,5	0,53	0,63	84,1	0,56	0,63	88,9
Дончак	1,83	1,93	94,8	1,48	1,90	77,9	0,52	0,50	104	0,57	0,53	107,5
597/18	2,13	2,00	106,5	1,85	2,23	83,0	0,52	0,63	82,5	0,52	0,49	106,1
Разгуляй	1,81	2,30	78,7	1,69	2,21	76,5	0,47	0,54	87,0	0,50	0,55	90,9
Василич	1,74	2,61	66,7	1,57	2,43	64,6	0,61	0,59	103,4	0,49	0,56	87,5
Приволье	1,86	2,69	69,1	1,73	2,48	69,8	0,57	0,60	95,0	0,50	0,58	86,1
1724/18	1,88	2,75	68,4	1,69	2,45	69,0	0,52	0,68	76,5	0,56	0,62	90,3
Флагман	1,92	2,14	89,7	1,54	1,93	79,8	0,52	0,61	85,2	0,44	0,53	86,3
Стандартное отклонение	0,18	0,30	12,84	0,25	0,31	9,31	0,03	0,06	9,72	0,04	0,07	11,91

Превышение значений сохранности хлорофилла *a* в условиях засухи в фазу молочной спелости зерна на величину стандартного отклонения (0,25 мг/100 г сырого вещества)

по сравнению со стандартом Ермак (1,50 мг/100 г сырого вещества) зафиксировано у линий 1762/17 (2,25 мг/100 г сырого вещества), 597/18 (1,85 мг/100 г сырого вещества)

и сорта Аксай (1,93 мг/100 г сырого вещества). Аналогичные закономерности изменений содержания хлорофилла *a* наблюдали и в контроле: в фазу цветения – 1,93–2,78 мг/100 г сырого вещества, а в фазу молочной спелости – 1,90–2,87 мг/100 г сырого вещества.

Несколько иная тенденция наблюдалась при количественном определении содержания хлорофилла *b* в листьях исследуемых сортов в вариантах «опыт» и «контроль» (табл. 1). Высокое содержания пигмента хлорофилла *b* приводит к усилению поглощения коротковолновой области спектра, интенсивному образованию аминокислот и белков, что способствует повышению устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды и в первую очередь к засухе. Одним из показателей при отборе на засухоустойчивость можно рассматривать накопление хлорофилла *b* во флаговом листе.

В фазу цветения в опыте диапазон содержания данного пигмента составил 0,47–0,61 мг/100 г сырого вещества, а в молочную спелость – 0,50–0,71 мг/100 г сырого вещества.

К фазе молочной спелости в условиях засухи максимальное количество хлорофилла *b* на величину стандартного отклонения (0,04 мг/100 г сырого вещества) по сравнению со стандартом Ермак (0,45 мг/100 г сырого вещества) отмечено у сортов и линий: Дончак (0,57 мг/100 г сырого вещества), Аксай и 1724/18 (по 0,56 мг/100 г сырого вещества), 1762/17 (0,53 мг/100 г сырого вещества), 597/18 (0,52 мг/100 г сырого вещества), Разгуляй и Приволье (по 0,50 мг/100 г сырого вещества).

Динамика содержания хлорофилла (*a+b*) в листьях растений пшеницы по сортам (опыт и контроль) в фазу цветения была высокой (2,54 и 3,09 мг/100 г сырого вещества) и снизилась к фазе молочной спелости зерна (2,18 и 2,92 мг/100 г сырого вещества).

Содержание суммарного хлорофилла (*a+b*) у образцов пшеницы в условиях нарастающей засухи в фазы цветения было от 2,34 до 2,28 мг/100 г сырого вещества, а молочной спелости зерна – от 1,99 до 2,43 мг/100 г сырого вещества (рис. 2).

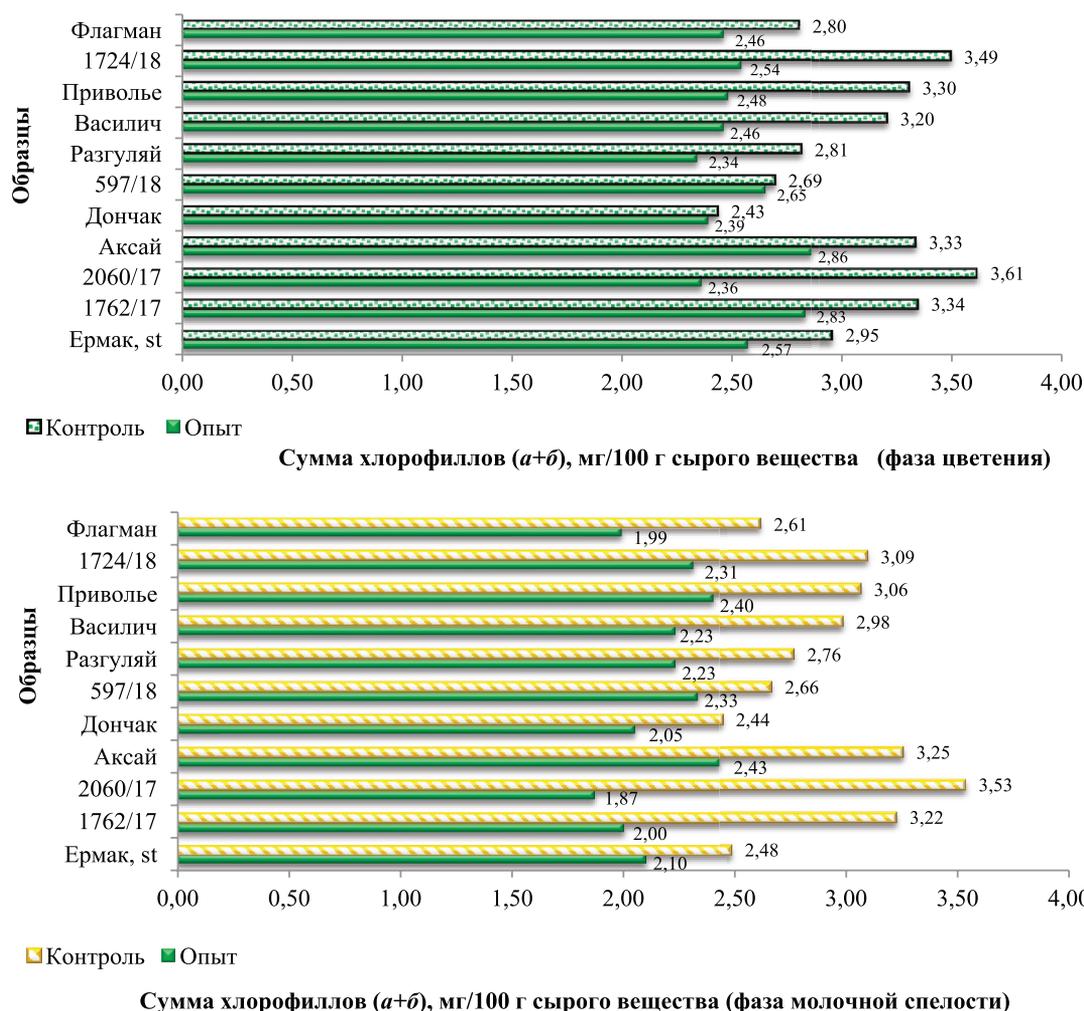


Рис. 2. Изменение содержания хлорофилла *a+b* в фазы цветения и молочной спелости зерна, мг/100 г сырого вещества (среднее за 2021–2023 гг.)

Fig. 2. Change in the content of chlorophyll *a+b* in the flowering phase and milk-ripe stage of grain, mg/100 g of raw material (average for 2021–2023)

Превышение суммарного хлорофилла в опыте в фазу молочной спелости зерна на величину стандартного отклонения (0,18 мг/100 г сырого вещества) над стандартным сортом Ермак (2,10 мг/100 г сырого вещества) отмечено у сортов Аксай (2,43 мг/100 г сырого вещества) и Приволье (2,40 мг/100 г сырого вещества), линий 597/18 (2,33 мг/100 г сырого вещества) и 1724/18 (2,31 мг/100 г сырого вещества).

Содержание суммарного хлорофилла на засухе к контролю во флаговых листьях рассматривается как индикатор засухоустойчивости пшеницы. Наименьшее содержание пигмента хлорофилла (а+б) как в фазу цветения, так и в фазу молочной спелости в засушливых условиях по сравнению с оптимальными было отмечено у сорта Дончак (98,4 и 84,0 на 1,6–16,0 %) и линии 597/18 (98,5 и 87,6 на 1,5–12,4 %) (рис. 3).

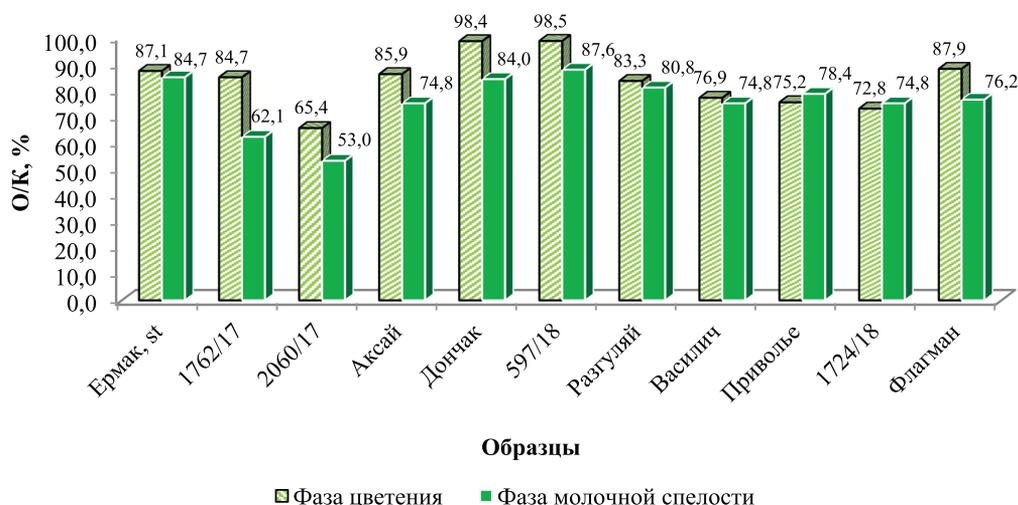


Рис. 3. Изменение суммарного хлорофилла образцов озимой пшеницы в фазы цветения и молочной спелости зерна, % (среднее за 2021–2023 гг.)

Fig. 3. Change in the total chlorophyll of winter wheat samples in the flowering phase and milk-ripe stage of grain, % (average for 2021–2023)

Степень структурной организации фотосинтетического аппарата характеризует показатель соотношения хлорофиллов а/б. Так как весь хлорофилл б находится в светособирающем комплексе, то чем меньше значение а/б, тем больше размеры светособирающего комплекса у растения и выше их адаптивность к неблагоприятным условиям выращивания. Снижение показателя соотношения хлорофиллов а/б может характеризовать степень фотохимической активности.

Согласно полученным экспериментальным данным количественного содержания хлорофиллов а и б во флаговых листьях главного стебля растений пшеницы в ходе дальнейших исследований было рассчитано соотношение между ними (рис. 4).

Анализ приведенных данных показал, что у образцов озимой пшеницы наблюдалось различное соотношение хлорофиллов а и б, их доли в общей сумме хлорофиллов. Соотношение хлорофиллов а/б в фазу цветения колебалось в пределах 2,9–4,2, а в фазу молочной спелости – 2,7–3,5. Минимальное

значение данного показателя в опыте в фазу цветения принадлежало сорту Василич (2,9), а в фазу молочной спелости зерна – линиям 1762/17 и 2060/17 (по 2,7).

У изучаемых сортов озимой пшеницы наблюдались различия по величине урожая в разных условиях выращивания. В опыте урожайность варьировала от 219,8 (Приволье) до 307,7 г/м² (Дончак), в контроле – от 308,5 (Приволье) до 409,9 г/м² (Разгуляй) (табл. 2).

Снижение средних значений урожайности по сортам в условиях недостаточной влагообеспеченности по сравнению с оптимальными условиями составило 22,9 %. Достоверного превышения этих значений стандарта Ермак (264,2 г/м²) среди изучаемых образцов в опыте не выявлено (НСР₀₅ – 62,8 г/м²). Все изучаемые сорта и линии по этому показателю находились на уровне стандарта. Высокие значения зерновой продуктивности в условиях засухи отмечены у образцов Дончак (307,7 г/м²), 1724/18 (296,7 г/м²), Разгуляй (290,7 г/м²), 2060/17 (290,9 г/м²).

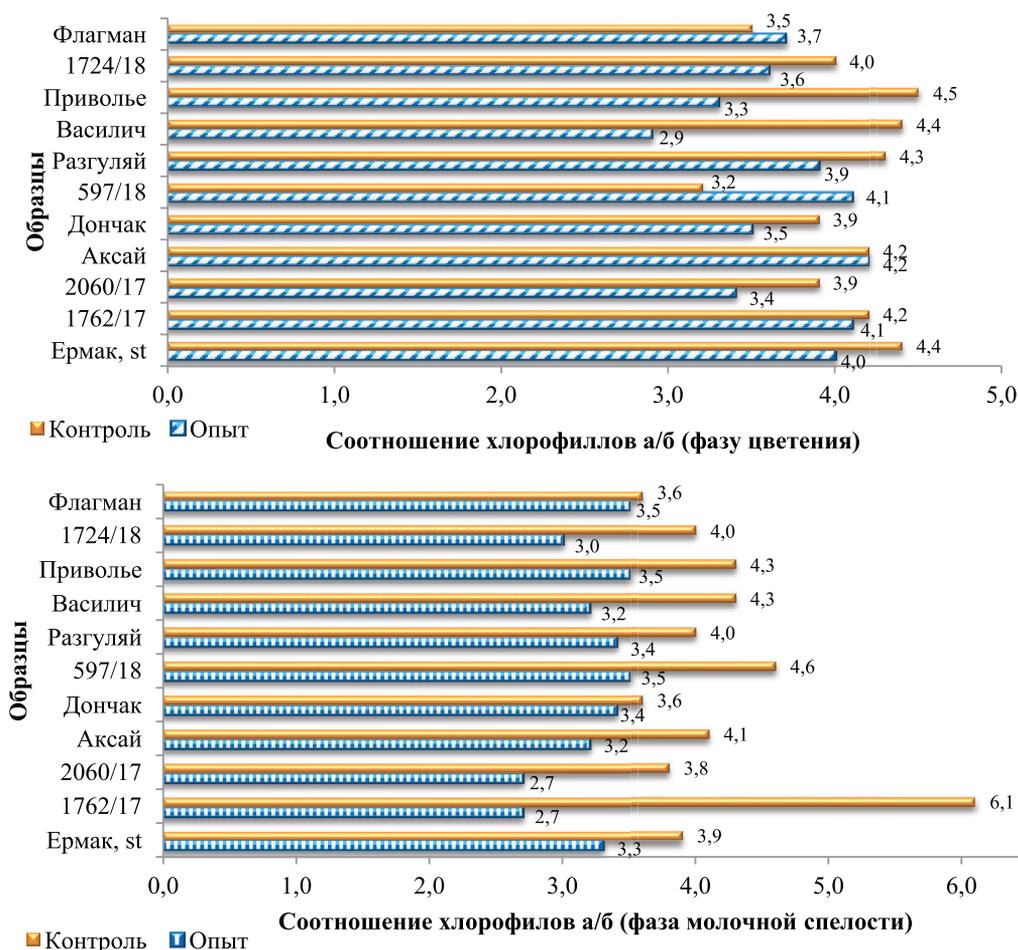


Рис. 4. Соотношение хлорофиллов а/б в фазы цветения и молочной спелости зерна (среднее за 2021–2023 гг.)

Fig. 4. The ratio of chlorophyll a/b in the flowering phase and milk-ripe stage of grain (average for 2021–2023)

Таблица 2. Урожайность озимой пшеницы в условиях вегетационного опыта «засушник» (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 2. Winter wheat productivity under arid conditions of vegetation trial (zasushnik) (average for 2021–2023)

Образец	Урожайность, г/м ²		% О/К
	Опыт	Контроль	
Ермак, st	264,2	334,1	79,1
1762/17	285,5	360,5	79,2
2060/17	290,9	367,3	79,2
Аксай	231,9	319,2	72,7
Дончак	307,7	377,9	81,4
597/18	261,0	346,9	75,2
Разгуляй	290,7	409,9	70,9
Василич	274,6	357,7	76,8
Приволье	219,8	308,5	71,2
1724/18	296,7	372,3	79,7
Флагман	279,6	337,9	82,7
Среднее	273,0	353,8	77,1
НСР ₀₅	62,8	90,2	–

Важная роль в обеспечении урожайности растений отводится интенсивной работе пигментного аппарата. Исходя из вышеизложенного, мы проанализировали изменения

соотношения содержания хлорофиллов а+б и а/б и урожайности в условиях засухи по сравнению с оптимальными условиями (табл. 3).

Таблица 3. Соотношение содержания хлорофиллов *a+b* и *a/b* в фазы цветения и молочной спелости и урожайности в условиях засухи по сравнению с оптимальными условиями, % (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 3. The ratio of the content of chlorophylls *a+b* and *a/b* in the flowering phase and milk-ripe stage of grain and productivity under drought conditions compared to optimal conditions, % (average for 2021–2023)

Образец	Урожайность	<i>a+b</i>		<i>a/b</i>	
		цветение	молочная спелость	цветение	молочная спелость
Ермак, st	79,1	87,1	84,7	90,9	84,6
1762/17	79,2	84,7	62,1	97,6	44,3
2060/17	79,2	65,4	53,0	87,2	71,1
Аксай	72,7	85,9	74,8	100,0	78,0
Дончак	81,4	98,4	84,0	89,7	94,4
597/18	75,2	98,5	87,6	128,1	76,1
Разгуляй	70,9	83,3	80,8	90,7	85,0
Василич	76,8	76,9	74,8	65,9	74,4
Приволье	71,2	75,2	78,4	73,3	81,4
1724/18	79,7	72,8	74,8	90,0	75,0
Флагман	82,7	87,9	76,2	105,7	97,2

Проведенный сравнительный анализ пигментов фотосинтеза у сортов Дончак, Разгуляй, Флагман и линии 597/18 показал, что высокое накопление суммарного хлорофилла *a+b* в фазы цветения и молочной спелости в листьях растений сопровождалось незначительным снижением урожайности в опыте по сравнению с контролем. Линии 1762/17, 2060/17, 597/18 и 1724/18 характеризуются незначительным снижением урожайности и высокой устойчивостью к засухе.

Корреляционный анализ связи урожайности изучаемых образцов пшеницы и соотношения хлорофиллов *a/b* выявил в фазу цветения слабую достоверную зависимость на 10 %-м уровне урожая зерна от соотношения форм хлорофиллов ($r = -0,25 \pm 0,12$), а в фазу молочной спелости зерна имел среднюю отрицательную достоверную связь на 5%-м уровне ($r = -0,43 \pm 0,18$). Образцы пшеницы, у которых значения соотношений хлорофиллов *a/b* были низкими, характеризовались высокой урожайностью.

Выводы. Проведен анализ по количественному содержанию пигментов фотосинтеза растений озимой мягкой пшеницы, выращенных

в контрастных по влагообеспеченности условиях, что позволило выделить образцы с высокой адаптивной способностью в стрессовых условиях.

Высокое соотношение сохранности зеленых пигментов хлорофилла *a+b* в обе фазы с минимальным снижением урожайности в опыте по сравнению с контролем зафиксировано у сортов Дончак (98,4, 84,0 и 81,4 % соответственно), Разгуляй (83,3, 80,8 и 70,9 % соответственно), Флагман (87,9, 76,2 и 82,7 % соответственно) и линии 597/18 (98,5, 87,6 и 75,2 % соответственно).

Низкие значения соотношения хлорофилла *a/b* и незначительное снижение урожайности в условиях засухи к оптимальным условиям отмечено у линии 1762/17 (43,3 и 79,2 %), 2060/17 (71,1 и 79,2 %), 597/18 (76,1 и 75,2 %) и 1724/18 (75,0 и 79,7 %), характеризующихся высокой устойчивостью к засухе. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования показателей пигментов хлорофилла в качестве признаков, связанных с засухоустойчивостью и высокой урожайностью.

Библиографические ссылки

1. Амунова О. С., Лисицын Е. М. Влияние различных условий увлажнения на пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости // Самарский научный вестник. 2019. № 8(28). С. 19–24.
2. Газе В. Л., Голубова В. А., Лобунская И. А. Развитие листового аппарата растений и содержание хлорофилла как показатель отзвучивости на увлажнение и устойчивости к засухе образцов озимой мягкой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2021. № 6. С. 9–14. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-9-14
3. Голева Г. Г., Ващенко Т. Г., Крюкова Т. И., Голев А. Д. Роль флаговых листьев в формировании продуктивности растений озимой пшеницы (*Triticum Aestivum* L.) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 2(49). С. 31–42. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.31
4. Гузенко А. Ю., Солонкин А. В., Донцова А. А. Сравнительный анализ фотосинтетического потенциала новых сортов ярового ячменя в зоне засушливого климата Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2024. № 2. С. 88–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-88-97
5. Калинина А. В., Лящева С. В. Состав и содержание пигментов фотосинтеза в листьях проростков озимой мягкой пшеницы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 2(2). С. 286–290.
6. Куликович С. Н., Куликович Е. Н. Диагностика стадий развития озимой пшеницы по шкале BVCSN. Минск: Наша Идея, 2014. 23 с.

7. Лиховидова В. А., Газе В. Л., Ионова Е. В. Влияние фотосинтетического пигмента хлорофилла при различной влагообеспеченности на продуктивность растений озимой мягкой пшеницы // *Аграрная наука*. 2020. № 7–8. С. 86–89. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-86-89

8. Маймистов В. В., Осипов Ю. Ф., Чумаковский Н. Н., Евтушенко Ю. В. Ускоренная оценка засухоустойчивости селекционного материала // *Селекция и семеноводство*. 1988. № 3. С. 23–25.

9. Синеговская В. Т., Низкий С. Е., Науменко Е. Е. Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. № 23(6). С. 788–795. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795

10. Тютерева Е. В., Дмитриева В. А., Войцеховская О. В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. № 52(5). С. 843–855. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus

11. Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Оганян Л. Р., Чернова И. В. Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 05(196). С. 27–37. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-27-37

12. Шматько И. Г., Шаповал А. И., Шевчук Н. В. Устойчивость зеленых пигментов к водному дефициту и повышенным температурам. Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. М.: Колос, 1976. С. 48–54.

13. Gu J., Zhou Z., Li Z., Chen Y., Wang Z., Zhang H., Yang J. Photosynthetic Properties and Potentials for Improvement of Photosynthesis in Pale Green Leaf Rice under High Light Conditions // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8, Article number: 1082. DOI: 10.3389/fpls.2017.01082

14. Zhao W., Liu L., Shen Q., Yang J., Han X., Tian F., Wu J. Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat // *Water*. 2020. Vol. 12(8), Article number: 2127. DOI: 10.3390/w12082127

15. Yang B., Wen X., Wen H., Feng Y., Zhao J., Wu B., ... and Zheng J. Identification of Genetic Loci Affecting Flag Leaf Chlorophyll in Wheat Grown under Different Water Regimes // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13, Article number: 832898. DOI: 10.3389/fgene.2022.832898

References

1. Amunova O. S., Lisitsyn E. M. Vliyaniye razlichnykh uslovii uvlazhneniya na pigmentnyi kompleks list'ev sortov myagkoi yarovoi pshenitsy raznykh grupp spelosti [The effect of different moisture conditions on the pigment complex of leaves of spring common wheat varieties of different maturity groups] // *Samarskii nauchnyi vestnik*. 2019. № 8(28). S. 19–24.

2. Gaze V. L., Golubova V. A., Lobunskaya I. A. Razvitiye listovogo apparata rastenii i sodержanie khlorofilla kak pokazatel' otzyvchivosti na uvlazhnenie i ustoichivosti k zasukhe obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy [Development of plant leaves and chlorophyll as an indicator of responsiveness to moisture and resistance to drought of winter common wheat samples] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 6. S. 9–14. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-9-14

3. Goleva G. G., Vashchenko T. G., Kryukova T. I., Golev A. D. Rol' flagovykh list'ev v formirovaniy produktivnosti rastenii ozimoi pshenitsy (*Triticum Aestivum* L.) [The role of flag leaves in the formation of plant productivity of winter wheat (*Triticum Aestivum* L.)] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. № 2(49). S. 31–42. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.31

4. Guzenko A. Yu., Solonkin A. V., Dontsova A. A. Sravnitel'nyi analiz fotosinteticheskogo potentsiala novykh sortov yarovogo yachmenya v zone zasushlivogo klimata Nizhnego Povolzh'ya [Comparative analysis of the photosynthetic potential of new spring barley varieties in the arid climate area of the Lower Volga region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2024. № 2. S. 88–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-88-97

5. Kalinina A. V., Lyashcheva S. V. Sostav i sodержanie pigmentov fotosinteza v list'yakh prorstkov ozimoi myagkoi pshenitsy [Composition and content of photosynthesis pigments in leaves of winter common wheat sprouts] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2018. T. 20, № 2(2). S. 286–290.

6. Kulikovich S. N., Kulikovich E. N. Diagnostika stadii razvitiya ozimoi pshenitsy po shkale BBCH [Diagnostics of the development stages of winter wheat using the BBCH scale]. Minsk: Nasha Ideya, 2014. 23 s.

7. Likhovidova V. A., Gaze V. L., Ionova E. V. Vliyaniye fotosinteticheskogo pigmenta khlorofilla pri razlichnoi vlagoobespechennosti na produktivnost' rastenii ozimoi myagkoi pshenitsy [The effect of the photosynthetic pigment chlorophyll on the productivity of winter common wheat plants at different moisture levels] // *Agrarnaya nauka*. 2020. № 7–8. S. 86–89. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-86-89

8. Maimistov V. V., Osipov Yu. F., Chumakovskii N. N., Evtushenko Yu. V. Uskorennaya otsenka zasukhoustoichivosti selektsionnogo materiala [Accelerated estimation of drought resistance of breeding material] // *Selektsiya i semenovodstvo*. 1988. № 3. S. 23–25.

9. Sinegovskaya V. T., Nizkii S. E., Naumenko E. E. Khlorofill kak kriterii ustoichivosti rastenii soi k dlitel'nomu zatopleniyu pochvy [Chlorophyll as a criterion for the resistance of soybean plants to long-term soil flooding] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2022. № 23(6). S. 788–795. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795

10. Tyutereva E. V., Dmitrieva V. A., Voitsekhovskaya O. V. Khlorofill b kak istochnik signalov, reguliruyushchikh razvitiye i produktivnost' rastenii [Chlorophyll b as a source of signals regulating plant development and productivity] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2017. № 52(5). S. 843–855. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus

11. Shestakova E. O., Eroshenko F. V., Storchak I. G., Oganyan L. R., Chernova I. V. Vliyaniye razlichnykh elementov tekhnologii vozdeleyvaniya na sodержanie khlorofilla v rasteniyakh ozimoi pshenitsy i ee urozhainost' [The effect of various cultivation technologies on the chlorophyll content

in winter wheat plants and its productivity] // Agrarnyi vestnik Urala. 2020. № 05(196). S. 27–37. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-27-37

12. Shmat'ko I. G., Shapoval A. I., Shevchuk N. V. Ustoichivost' zelenykh pigmentov k vodnomu defitsitu i povyshennym temperaturam [Resistance of green pigments to water deficiency and high temperatures]. Metody otsenki ustoichivosti rastenii k neblagopriyatnym usloviyam sredy. M.: Kolos, 1976. S. 48–54.

13. Gu J., Zhou Z., Li Z., Chen Y., Wang Z., Zhang H., Yang J. Photosynthetic Properties and Potentials for Improvement of Photosynthesis in Pale Green Leaf Rice under High Light Conditions // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8, Article number: 1082. DOI: 10.3389/fpls.2017.01082

14. Zhao W., Liu L., Shen Q., Yang J., Han X., Tian F., Wu J. Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat // Water. 2020. Vol. 12(8), Article number: 2127. DOI: 10.3390/w12082127

15. Yang B., Wen X., Wen H., Feng Y., Zhao J., Wu B., ... and Zheng J. Identification of Genetic Loci Affecting Flag Leaf Chlorophyll in Wheat Grown under Different Water Regimes // Frontiers in Genetics 2022. Vol. 13, Article number: 832898. DOI: 10.3389/fgene.2022.832898

Поступила: 09.07.24; доработана после рецензирования: 26.07.24; принята к публикации: 26.07.24.

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. Лобунская И. А., Газе В. Л. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В. – проведение лабораторных и вегетационного опытов; Подгорный С. В., Зеленская Г. М. – концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ЖЕНСКОГО ГАМЕТОФИТА В КАСТРИРОВАННЫХ РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА РАЗРАСТАНИЕ ЗАВЯЗЕЙ ПРИ СКРЕЩИВАНИИ С КУКУРУЗОЙ

Е. В. Бондаренко¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824;

И. Ф. Лапочкина², доктор биологических наук, главный научный сотрудник, inna-lapochkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2328-2798;

И. А. Пишенин¹, научный сотрудник, pishenin.ivan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2633-9251;

И. Ю. Макарова², кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, makarovairinaj@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0001-9711-2601;

Н. А. Яшина², кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, yashina-nat@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-7466-5822;

А. С. Смирнова¹, младший научный сотрудник, sas.smirnova@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-1263-9188;

Е. А. Казакова¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, alvaly@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2975-5891;

Я. А. Блинова¹, младший научный сотрудник, yana.manuhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3670-5876;

А. А. Празян¹, научный сотрудник, prazyana@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-7908-1928;

П. Ю. Волкова³, доктор биологических наук, независимый исследователь, volkova.obninsk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2824-6232

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 249035, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1; e-mail: rirae70@yandex.ru;

²ФИЦ «Немчиновка»,

143026, Московская обл., р.п. Новоивановское, ул. Агротехников, д. 6; e-mail: mosniish@yandex.ru;

³Бельгия, 2440, провинция Антверпен, г. Гел, ул. Бюргстраат, д. 46-3.

В течение 5 лет была проведена серия опытов по использованию γ -облучения женского гаметофита яровой мягкой пшеницы перед отдаленной гибридизацией с кукурузой с целью изучения влияния изменяющегося при облучении в различных дозах гормонального фона растений на разрастание завязей после опыления кукурузой. Установлены оптимальные сроки проведения работ по кастрации, облучению и опылению пылью кукурузы. Сделан вывод о необходимости проведения таких опытов в контролируемых условиях климокамеры, чтобы избежать дополнительных стрессов в период оплодотворения и развития зародыша. При γ -облучении в диапазоне доз от 3 до 15 Гр отмечены наилучшие результаты разрастания завязей (7,89–11,30 % разросшихся завязей). Установлено изменение уровня различных фитогормонов и возможное влияние этих изменений на завязываемость и рост завязей – потенциальных источников гаплоидных и апомиктично развитых генотипов. Отмечено, что для вариантов с наилучшими показателями разросшихся завязей характерно повышение значений соотношений салициловая кислота / индол-3-уксусная кислота и салициловая кислота / абсцизовая кислота по отношению к этим же значениям до облучения.

Ключевые слова: мягкая пшеница, кукуруза, гамма-облучение, фитогормоны, женский гаметофит, завязи.

Для цитирования: Бондаренко Е. В., Лапочкина И. Ф., Пишенин И. А., Макарова И. Ю., Яшина Н. А., Смирнова А. С., Казакова Е. А., Блинова Я. А., Празян А. А., Волкова П. Ю. Влияние гамма-облучения женского гаметофита в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы на разрастание завязей при скрещивании с кукурузой // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 50–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-50-59.



GAMMA IRRADIATION EFFECT OF FEMALE GAMETOPHYTE IN EMASCULATED SPRING BREAD WHEAT PLANTS ON OVARIES' GROWTH WHEN CROSSED WITH MAIZE

E. V. Bondarenko¹, Candidate of Biological Sciences, leading researcher, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824;

I. F. Lapochkina², Doctor of Biological Sciences, main researcher, inna-lapochkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2328-2798;

I. A. Pishenin¹, researcher, pishenin.ivan@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2633-9251;

I. Yu. Makarova², Candidate of Biological Sciences, leading researcher, makarovairinaj@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0001-9711-2601;

N. A. Yashina², Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, yashina-nat@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-7466-5822;

A. S. Smirnova¹, junior researcher, sas.smirnova@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-1263-9188

E. A. Kazakova¹, Candidate of Biological Sciences, senior researcher, alvaly@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2975-5891;

Ya. A. Blinova¹, junior researcher, yana.manuhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3670-5876;

A. A. Prazyan¹, researcher, prazyana@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-7908-1928;

P. Yu. Volkova³, Doctor of Biological Sciences, independent researcher, volkova.obninsk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2824-6232

¹Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center "Kurchatov Institute",

249035, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe Sh., 1/1; e-mail: rirae70@yandex.ru;

²FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka" (FRC "Nemchinovka"),

143026, Russia, Moscow region, Odintsovsky region, Odintsovsky district, v. of Novoivanovskoe, Agrokhimikov Str., 6; e-mail: mosniish@yandex.ru;

³Belgium, 2440, province of Antwerp, Gel, Burgstraat St., 46–3

Over a period of 5 years, there was conducted a series of trials on the use of γ -irradiation of the female gametophyte of spring common wheat before remote hybridization with maize to study the effect of the phytohormonal changes during irradiation at various doses on ovaries' growth after pollination with maize. Optimal timing of work on castration, irradiation, and pollination with maize pollen were established. It has been concluded that it is necessary to conduct such experiments in controlled conditions of a climatic chamber to avoid additional stress during fertilization and development of an embryo. The best results in ovaries' growth were obtained (7.89–11.30 % of developed ovaries) with γ -irradiation in the dose from 3 to 15 Gy. There have been found changes in the level of various phytohormones and the possible influence of these changes on ovaries' setting and growth, as potential sources of haploid and apomictically developed genotypes. The variants with the best indicators of developed ovaries are characterized by an increase in the ratio values of the salicylic acid/indole-3-acetic acid and salicylic acid/abscisic acid in relation to the same values before irradiation.

Keywords: common wheat, maize, gamma irradiation, phytohormones, female gametophyte, ovaries.

Введение. Получение гаплоидов может способствовать ускорению процессов создания константного материала и новых сортов сельскохозяйственных культур. Одним из подходов получения гаплоидов у *Triticum aestivum* является отдаленная гибридизация с кукурузой (*Zea mays* L.), декоративным просо (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), луковичным ячменем (*Hordeum bulbosum* L.) или сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) с последующей селективной элиминацией хромосом опылителя. При скрещивании мягкой пшеницы с кукурузой возникновение гаплоидных зародышей происходит с частотой от 4,5 до 20,0 % от числа опыленных цветков (Дьячук и др., 2019). Однако в течение ряда лет в ФИЦ «Немчиновка» остаются неэффективными эксперименты по созданию гаплоидов мягкой пшеницы при опылении пылью кукурузы, в связи с чем возникла необходимость в поиске новых подходов к получению гаплоидов с использованием отдаленной гибридизации (Воронов и др., 2023).

Изучение развития гаплоидных зародышей овса показало, что морфоанатомические модификации гаплоидных эмбрионов сопровождались крайне низким уровнем эндогенных ауксинов, более высоким по сравнению с зиготными эмбрионами содержанием цитокининов, десятикратным увеличением соотношения цитокининов и ауксинов, а также более высокими значениями отдельных гиббереллинов в одном из двух исследованных сортов (Dziurka et al., 2022). Сравнение фитогормональных профилей в завязях овса с зародышем и без показало значительно более высокое суммарное содержание индол-3-уксусной кислоты, зеатина и кинетина в завязях с зародышами и отсутствие различий в концентрации гиббереллинов и стресс-гормонов (абсцизовая, салициловая, жасмоновая кислоты) (Dziurka et al., 2019). Учитывая, что разви-

тие растений регулируется фитогормонами, а стрессовые воздействия приводят к изменениям гормонального баланса (Wani et al., 2016; Rouchoudhury and Aftab, 2021), было решено применить в качестве стрессового фактора ионизирующее излучение. Таким образом, с целью изменения гормонального фона в сторону наиболее благоприятную для оплодотворения и получения гаплоидов, женский гаметофит мягкой пшеницы был подвергнут γ -облучению (Воронов и др., 2023).

В работе Битаршвили с соавторами было исследовано влияние γ -облучения семян ячменя сорта Нур в широком диапазоне доз (4–50 Гр) на содержание эндогенных фитогормонов: индолилуксусной кислоты, индолилмасляной кислоты, зеатина, абсцизовой кислоты и их соотношения в динамике прорастания с третьего по седьмой день и показано, что облучение в дозе 50 Гр приводило к увеличению содержания абсцизовой кислоты при уменьшении концентраций остальных гормонов. Облучение в дозах 4–20 Гр меняло соотношение фитогормонов за счет снижения уровня абсцизовой кислоты и увеличения содержания индолилуксусной и индолилмасляной кислот и зеатина (Битаршвили и др. 2018).

Таким образом, цель исследований заключается в оценке влияния γ -облучения женского гаметофита на содержание основных фитогормонов и на разрастание завязей мягкой пшеницы после опыления пылью кукурузы. Основными фитогормонами были выбраны ауксины индол-3-уксусная и индолилмасляная кислоты, цитокинин зеатин, гибберелловая кислота, антагонист гибберелловой кислоты и гормон, контролирующий адаптивные реакции на стресс – абсцизовая кислота и защитный фитогормон – салициловая кислота.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследования использо-

вали сорт Родина яровой мягкой пшеницы. Растения выращивали в вегетационных сосудах: зимой 2019/2020 г. в теплице при искусственном освещении, а в 2020–2023 гг. весной и летом на стеллажах при естественной инсоляции и температурах. Для совпадения сроков цветения пшеницы и кукурузы семена кукурузы высевали также в сосудах, но в более ранние сроки (на 30 дней раньше пшеницы). Кастрацию колосьев проводили в максимально короткие сроки (за 2–6 дней в зависимости от числа растений и времени их выколашивания). После удаления всех пыльников из цветков каждый колос помещали в пергаментный изолятор, на котором фиксировалась дата кастрации, число прокастрированных цветков и в дальнейшем – дата опыления (Воронов и др., 2023).

На следующий день после окончания кастрации растения подвергались γ -облучению на уникальной научной установке ГУР-120 (источник – ^{60}Co , НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ) в дозах 1–30 Гр с мощностью дозы 60 Гр/час. Перед и сразу после облучения образцы молодых листьев кастрированных растений одного сосуда (3–5 образцов на экспериментальное условие) фиксировались в жидком азоте для определения содержания основных фитогормонов: индол-3-уксусной кислоты (IAA), индолилмасляной кислоты (IBA), гибберелловой кислоты (GA), зеатина (Zeatin), абсцизовой кислоты (ABA) и салициловой кислоты (SA). После облучения проводили принудительное опыление зрелой пылью кукурузы, оставляя в каждом цветке по пылящему пыльнику. Учет разросшихся завязей проводили на седьмой–десятый день после опыления. В эксперименте 2022 г. на двадцатый день после опыления провели вторичный подсчет завязей.

Качественное и количественное определение фитогормонов проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе Shimadzu LC-30 Nexera (Япония) с диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu, Япония). Полученные данные обрабатывали с помощью LabSolutions (Shimadzu, Япония).

Статистическую значимость различий до и после облучения оценивали с помощью критерия Уилкоксона для связанных выборок (Wilcoxon signed-rank test) после подтверждения необходимости применения непараметрических подходов при выполнении теста Шапиро–Уилка (R версия 4.3.3 от 2024-02-29). Для корреляционного анализа был использован метод ранговой корреляции Спирмена.

Разница содержания гормонов в растениях рассчитана по формуле (1):

$$\frac{\text{обл.} - \text{конт.}}{\text{конт.}} \times 100 \% \quad (1)$$

где обл. – содержание гормона в образце после облучения, мг/г; конт. – содержание гормона в образце до облучения, мг/г.

Результаты и их обсуждение. Зимой 2019/2020 г. провели пилотный эксперимент, облучив колосья в дозах 15, 20 и 25 Гр. При выборе доз учитывали, что женский гаметофит более устойчив к облучению, чем мужской (Pienaar et al., 1973). Небольшая выборка из 40 растений позволила за два дня провести кастрацию, облучить растения на четвертый день, опылить цветки на девятый день после кастрации и оценить разрастание завязей на седьмой день после опыления (табл. 1). Все процедуры были проведены в короткий шестнадцатидневный срок (Воронов и др., 2023).

Таблица 1. Доля разросшихся завязей и сдвиги в концентрациях фитогормонов в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы после облучения женского гаметофита и опыления пылью кукурузы (2019–2023 гг.)
Table 1. The proportion of developed ovaries and shifts in the concentrations of phytohormones in emasculated spring bread wheat plants after irradiation of the female gametophyte and pollination with maize pollen (2019–2023)

Доза, Гр	Число растений	Число кастрированных цветков	Разросшиеся завязи		Изменения гормонального фона к контролю до облучения
зима 2019–2020, теплица (&)					
15	12	222	25 шт.	11,3 %	< IAA, IBA, > SA
20	16	290	9 шт.	3,1 %	< ABA, > SA, GA
25	12	258	8 шт.	3,4 %	< IAA, IBA, ABA, > SA
2020 г., сосуды, естественная инсоляция					
5	30	784	4 шт.	0,51 %	> Zeatin
10	22	584	0 шт.	0 %	
15	23	633	2 шт.	0,31 %	> ABA, IAA, IBA, GA, SA
20	25	648	0 шт.	0 %	
25	29	756	0 шт.	0 %	
контроль без облучения	19	526	0 шт.	0 %	
2021 г., сосуды, естественная инсоляция					
5	31	662	56 шт.	8,45 %	> IAA
10	30	645	59 шт.	9,15 %	> SA, Zeatin
15	26	663	11 шт.	1,66 %	> SA
30	19	578	20 шт.	3,46 %	> IAA
контроль без облучения	30	432	17 шт.	3,94 %	

Продолжение табл. 1

Доза, Гр	Число растений	Число кастрированных цветков	Разросшиеся завязи				Изменения гормонального фона к контролю до облучения
			на 7-8-й дни после опыления		на 20-й день после опыления		
2022 г., сосуды, естественная инсоляция							
5	31	1003	14 шт.	1,39 %	24 шт.	2,39 %	> ABA*, SA*
10	23	988	12 шт.	1,56 %	16 шт.	1,61 %	< GA, IBA, zeatin
15	28	1065	10 шт.	0,93 %	20 шт.	1,87 %	< ABA*, IBA*, SA*
30	25	873	8 шт.	0,91 %	14 шт.	1,60 %	> SA*
Контроль без облучения	14	415	0 шт.	0 %	0 шт.	0 %	
2023 г., сосуды, естественная инсоляция							
1	21	644	15 шт.		2,33 %		> GA, < Zeatin
2	24	731	27 шт.		3,69 %		< IAA#, IBA#
3	19	532	42 шт.		7,89 %		< IAA, > IBA
5	25	736	43 шт.		5,84 %		< IAA#, > IBA#, GA
Контроль без облучения	10	253	9 шт.		3,55 %		

Примечания. & – Ограниченная выборка не позволила провести статистическую обработку данных.

< – уменьшение содержания после облучения; > – увеличение содержания после облучения.

* – статистически значимые изменения, по отношению к концентрации в этих же растениях до облучения ($p \leq 0,05$ по Wilcoxon signed-rank test).

– изменения по отношению к концентрации в этих же растениях до облучения на уровне статистической тенденции ($p = 0,06$ по Wilcoxon signed-rank test).

В пилотном эксперименте (2019/2020 г.) наилучшие результаты по разросшимся завязям (11,3 %) показали растения, облученные в дозе 15 Гр. У этих растений отмечено увеличение содержания салициловой кислоты и уменьшение индолмасляной и индол-3-уксусной кислот. Для всех вариантов пилотного опыта наблюдали общую тенденцию формирования разросшихся завязей: разрастание тканей завязей происходило чаще в цветках нижних колосков колоса, то есть физиологически более молодых и позднее цветущих. Сделан вывод, что в дальнейших экспериментах время от кастрации до облучения и от облучения до опыления чужеродным видом необходимо максимально сократить для повышения жизнеспособности завязей. Оптимально кастрацию колосьев следует проводить в течение 2–3-х дней, облучение растений следует проводить на третий день после начала кастрации колосьев, а опыление – сразу после облучения. Выполнение этих условий может повысить частоту разросшихся завязей – потенциальных источников гаплоидных растений. Второй вывод, который сделан после этого предварительного опыта: необходимость планировать дополнительные варианты облучения колосьев в дозах 5 и 10 Гр (Воронов и др., 2023).

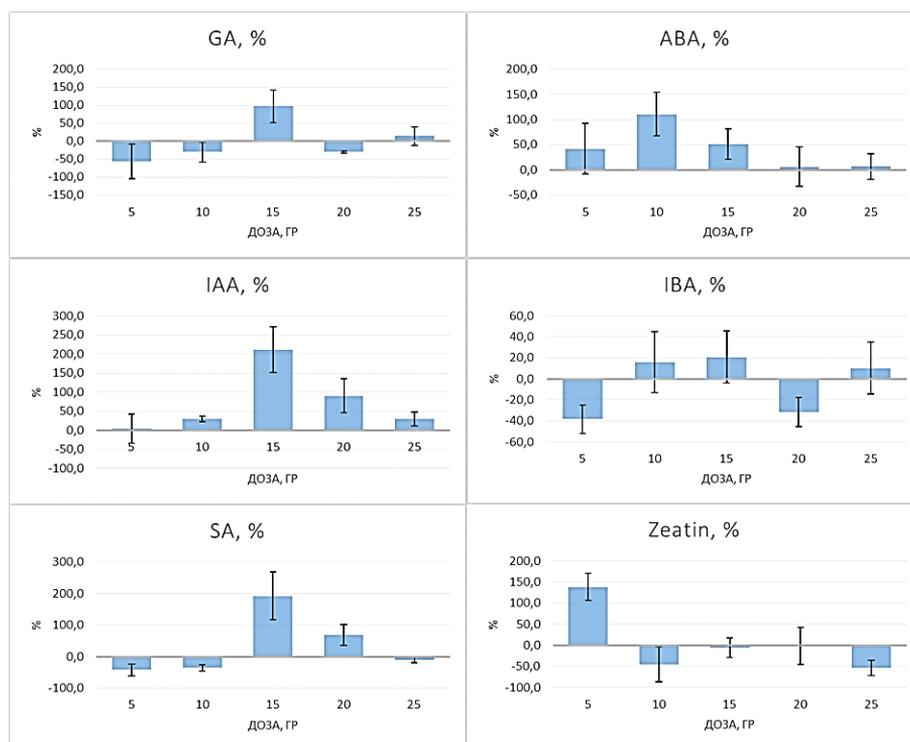
В эксперименте 2020 г. в течение трех дней были прокастрированы 148 растений. На третий день после кастрации колосья были облучены в пяти дозах в диапазоне 5–25 Гр. Задержка цветения кукурузы привела к более позднему опылению цветков. К этой процедуре приступили только на пятый день после облучения. Изменение уровня отдельных фитогормонов в растениях до и после облучения (рис. 1,А), по-видимому, не было связано с наблюдаемой частотой разросшихся завязей, так как отме-

чено редкое разрастание завязей только в дозах 5 и 15 Гр (табл. 1). У растений, облученных в дозе 5 Гр, отмечено снижение концентраций всех исследованных гормонов, кроме цитокинина зеатина, концентрация которого выросла на 138 %. При дозе 15 Гр отмечено увеличение всех исследованных гормонов, кроме зеатина (рис. 1, А).

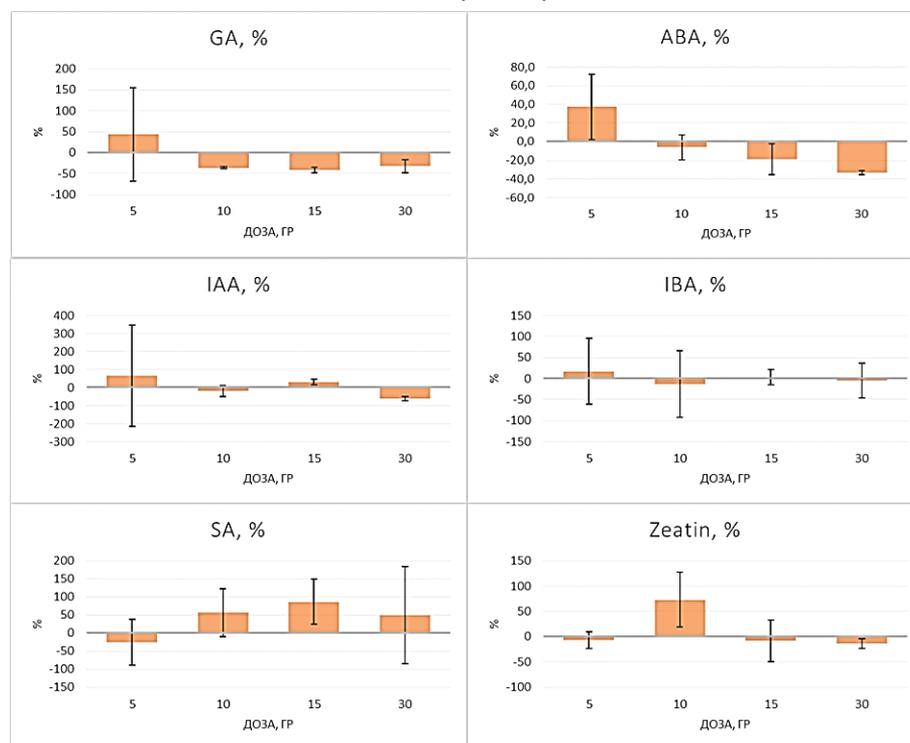
Корреляционный анализ данных изменения содержания фитогормонов в образцах 2020 г. после облучения (вне зависимости от дозы облучения) показал статистически значимую положительную корреляцию средней силы между содержанием индол-3-уксусной и салициловой кислот ($\rho = 0,64$, $p = 0,01$).

Летом 2021 г. пшеница выколашивалась не одновременно, поэтому период кастрации колосьев растянулся на 6 дней (с 25 по 30 мая). Облучение растений провели на следующий день после окончания кастрации (1 июня) в дозах 5, 10, 15 и 30 Гр, а опыление кукурузой – только на 7–13-й день после кастрации, то есть не в оптимальные сроки, когда все цветки в колосках открыты и часть завязей подсыхает. В растениях, облученных в дозах 5 и 10 Гр, отмечено повышенное разрастание завязей более чем в 2 раза по сравнению с вариантом без облучения (табл. 1) (Воронов и др., 2023). Для варианта облучения 5 Гр отмечено увеличение содержания индол-3-уксусной кислоты (на 66 %), а для 10 Гр – салициловой кислоты (на 56 %) и зеатина (на 73 %) (рис. 1, В).

Корреляционный анализ данных изменений в концентрациях гормонов в образцах после облучения вне зависимости от дозы облучения показал статистически значимую положительную корреляцию средней силы между индол-3-уксусной и абсцизовой кислотами ($\rho = 0,58$, $p = 0,05$).



A (2020)



B (2021)

Рис. 1. Разница содержания гормонов в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы до и после облучения в эксперименте А (2020 г.), В (2021 г.), представленная как разность содержания гормона после и до облучения к содержанию до облучения, принятому за 100 %. Ось у – разность, % (median, iqr); ось х – доза, Гр. GA – гибберелловая кислота, ABA – абсцизовая кислота, IAA – индол-3-уксусная кислота, IBA – индолилмасляная кислота, SA – салициловая кислота, Zeatin – зеатин

Fig. 1. The difference in hormone content in emasculated spring common wheat plants before and after irradiation in the trial A (2020), B (2021), presented as the difference in hormone content after and before irradiation to the content before irradiation, taken as 100 %. Y axis – difference, % (median, iqr); x-axis – dose, Gy. GA – gibberellic acid, ABA – abscisic acid, IAA – indole-3-acetic acid, IBA – indolylbutyric acid, SA – salicylic acid, Zeatin – zeatin

В 2022 г. все процедуры были выполнены в самые короткие сроки. Кастрация колосьев длилась три дня. Растения были облучены на следующий день после кастрации в дозах 5, 10, 15 и 30 Гр. На третий день после облучения за 2 дня провели опыление цветков. Таким образом, самые важные этапы гибридизации выполнены за 9 дней, когда завязи были физиологически молодыми. Однако в период после опыления температура воздуха поднялась

до 25–31°C (под пергаментными изоляторами температура была еще выше), что могло негативно повлиять на развитие зародышей и рост зерновки. Разросшиеся завязи считали дважды: на 7–8-й (рис. 2, А) и на 20-й день после опыления. При втором учете отмечали также тронувшиеся в рост, но засохшие завязи (рис. 2, В), которые визуально были вдвое больше неоплодотворенных (Воронов и др., 2023).

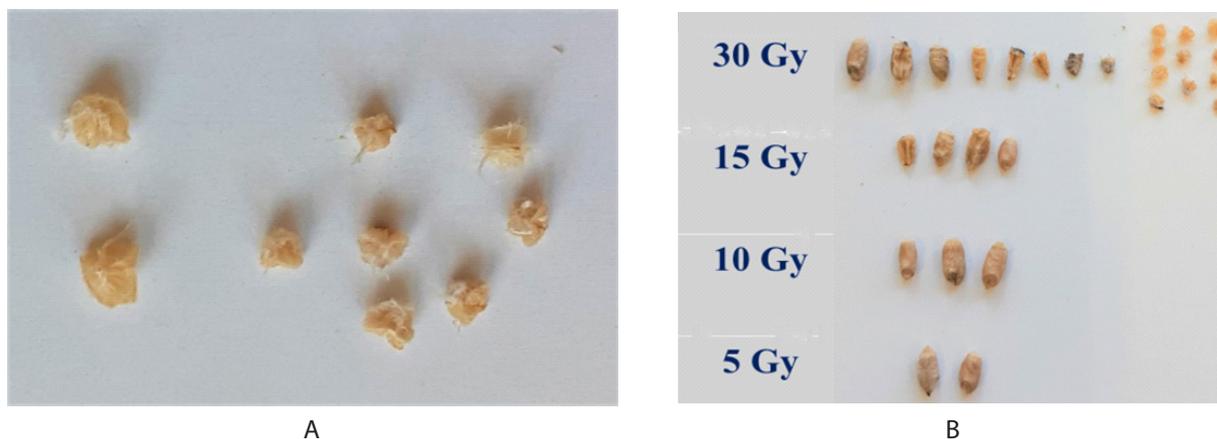


Рис. 2. А – разросшиеся завязи после опыления кукурузой (слева) и неоплодотворенные завязи (справа); В – завязавшиеся зерновки, зерновки с невыполненным эндоспермом и развивающиеся зерновки, остановившиеся в росте на разных стадиях (доза 30 Гр)

Fig. 2. А – the developed ovaries after pollination by corn (left) and unfertilized ovaries (right); В – formed caryopses, caryopses with unfulfilled endosperm and developing caryopses that have stopped growing at different stages (dose of 30 Gy)

В группе облучения в дозе 5 Гр отмечена максимальная доля завязываемости (2,39 %), которая, однако, не отличалась контрастно от других групп, а только от контрольных растений, в которых не обнаружили завязей ни на восьмой, ни на двадцатый день наблюдений (табл. 1). Наиболее выраженные изменения фитогормонального баланса проявились у растений, облученных в дозе 5 Гр, в виде статистически значимо повышенных концентраций абсцизовой и салициловой кислот, а в варианте 15 Гр – в виде статистически значимого снижения уровней абсцизовой и салициловой кислот, а также индолилмасляной кислоты (рис. 3, А).

Корреляционный анализ (рис. 4) полученных данных по изменению концентрации фитогормонов после облучения вне зависимости от дозы облучения показал статистически значимую положительную корреляцию средней силы между абсцизовой и салициловой кислотами ($\rho = 0,54$, $p < 0,05$), между абсцизовой кислотой и зеатином ($\rho = 0,58$, $p < 0,05$) и между зеатином и гибберелловой кислотой ($\rho = 0,45$, $p = 0,05$).

В связи с противоречивыми результатами предшествующих экспериментов в эксперименте 2023 г. было решено изучить влияние малых доз облучения (1, 2, 3 и 5 Гр) на разрастание завязей (табл. 1). Наибольшая доля разросшихся завязей пришлось на дозы 3 и 5 Гр (в 2,2 и 1,6 раза больше, чем в контроле, соот-

ветственно). В обеих дозах отмечено снижение концентрации индол-3-уксусной кислоты (на 82,5 % у растений, облученных в дозе 3 Гр и на 47 % – 5 Гр) в сочетании с увеличением уровня индолил-3-масляной кислоты (на 203 % в дозе 3 Гр и 68 % в дозе 5 Гр), а в дозе 5 Гр – еще и увеличение содержания гибберелловой кислоты (на 66 % (рис. 3, В)).

Корреляционный анализ данных изменения содержания фитогормонов в образцах после облучения вне зависимости от дозы облучения показал статистически значимую положительную корреляцию средней силы между индолил-3-масляной кислотой и зеатином ($\rho = 0,47$, $p = 0,05$).

В целом после облучения в более высоких дозах (10–30 Гр) отмечено повышение уровня салициловой кислоты (табл. 1, эксперименты 2019–2021 гг.). Этот гормон смягчает последствия воздействия ионизирующим излучением у проростков пшеницы за счет модуляции системы антиоксидантной защиты (Colak et al., 2021). Экзогенная обработка салициловой кислотой значительно улучшала рост растений и фотосинтетическую активность, а также регулировала вызванное γ -облучением накопление осмолитов (Colak et al., 2021). В то время как низкие концентрации салициловой кислоты усиливают антиоксидантную способность растений, высокие концентрации способствуют гибели клеток или восприимчивости к абиотическим стрессам (Jumali et al., 2011).

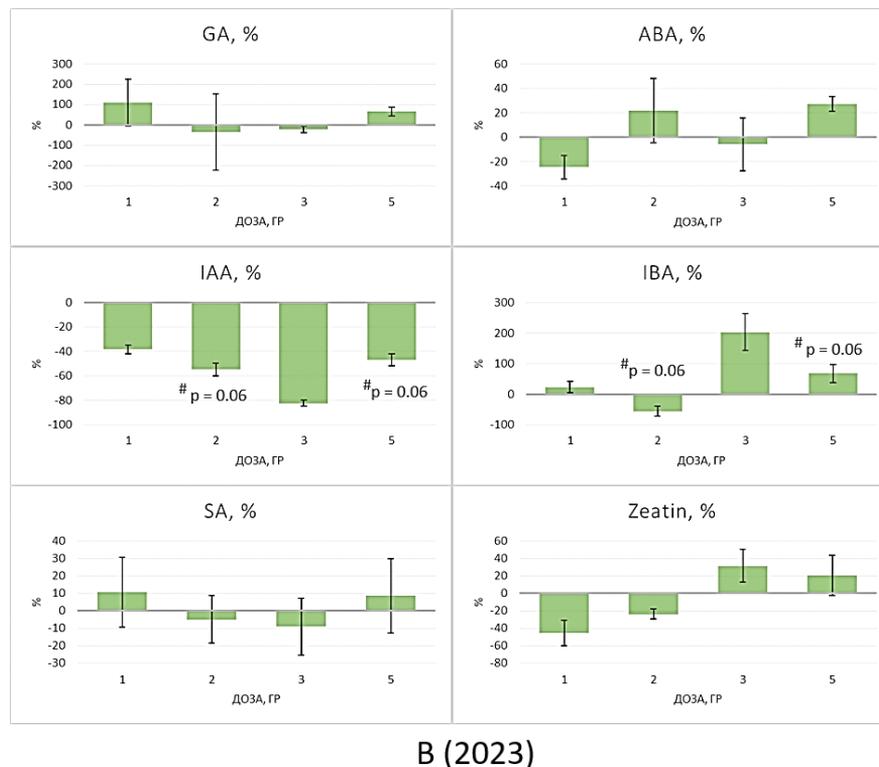
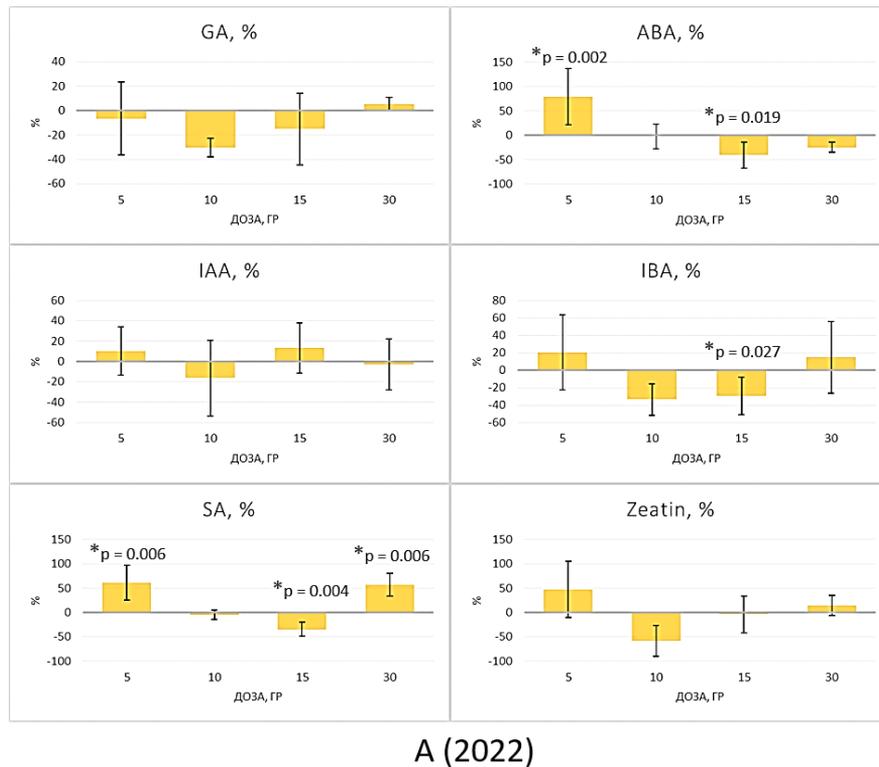


Рис. 3. Разница содержания гормонов в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы до и после облучения в эксперименте А (2022 г.), В (2023 г.), представленная как разница содержания гормона после и до облучения к содержанию до облучения, принятому за 100 %.

Ось y – разница, % (median, iqr); ось x – доза, Гр; * – статистически значимая разница по отношению к содержанию фитогормона до облучения в этих же растениях ($p \leq 0,05$; Wilcoxon signed-rank test); # – статистическая тенденция ($p \leq 0,1$). GA – гибберелловая кислота, ABA – абсцизовая кислота, IAA – индол-3-уксусная кислота, IBA – индолилмасляная кислота, SA – салициловая кислота, Zeatin – зеатин

Fig. 3. The difference in hormone content in emasculated spring common wheat plants before and after irradiation in the trial A (2022), B (2023), presented as the difference in hormone content after and before irradiation to the content before irradiation, taken as 100%.

Y axis – difference, % (median, iqr); x-axis – dose, Gy; * – statistically significant difference in relation to the phytohormone content before irradiation in the same plants ($p \leq 0,05$; Wilcoxon signed-rank test); # – statistical tendency ($p \leq 0,1$). GA – gibberellic acid, ABA – abscisic acid, IAA – indole-3-acetic acid, IBA – indolylbutyric acid, SA – salicylic acid, Zeatin – zeatin

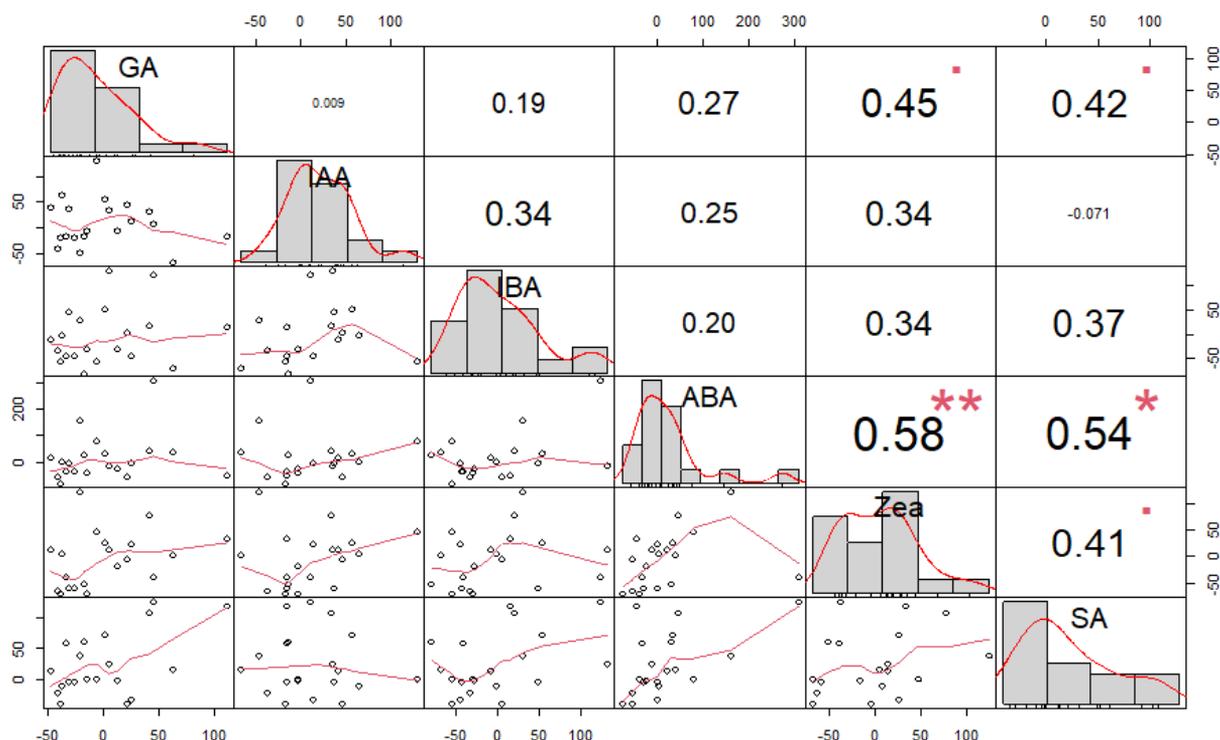


Рис. 4. Матрица корреляции разницы содержания фитогормонов после облучения в эксперименте 2022 г. (по критерию Спирмена): * – статистически значимые коэффициенты корреляции (при $p < 0,05$); ** – коэффициенты корреляции на уровне статистической тенденции ($0,05 < p < 0,075$)

Fig. 4. Correlation matrix for the difference in the content of phytohormones after irradiation in the trial in 2022 (according to Spearman's criterion): * – statistically significant correlation coefficients (at $p < 0.05$); ** – correlation coefficients at the level of statistical tendency ($0.05 < p < 0.075$)

При более низких дозах облучения (≤ 5 Гр) отмечена модуляция ауксина IAA и его предшественника IBA (табл. 1, эксперименты 2023 и 2021 гг.). Индол-3-уксусная кислота является одним из наиболее многофункциональных фитогормонов, участвующих не только в росте и развитии растений, но она также необходима для регулирования роста и координации сигналинга в условиях стресса (Kazan, 2013).

При изучении соотношения фитогормонального баланса до и после облучения в ва-

риантах с наилучшими показателями разросшихся завязей было отмечено повышение значений соотношений SA/IAA и SA/ABA после облучения растений по отношению к этим же значениям до облучения (табл. 2). При этом уровень соотношений фитогормонов-антагонистов Zea/IAA сохранялся на одном уровне как до, так и после облучения и отмечался одинаковый или пониженный уровень антагонистов Zea/ABA и GA/SA.

Таблица 2. Соотношения исследованных фитогормонов в вариантах экспериментов с наилучшими показателями разросшихся завязей у кастрированных растений яровой мягкой пшеницы до и после облучения
Table 2. Ratios of the studied phytohormones in the variants of trials with the best indicators of developed ovaries in emasculated spring common wheat plants before and after irradiation

Дозы, Гр	Год	SA/IAA	ABA/IAA	IAA/IBA	GA/IAA	Zea/IAA	SA/Zea	Zea/ABA	GA/SA	SA/ABA
5; 10	2021	*	#	*	&	#	*	&	&	*
5	2022	*	&	&	&	#	#	#	&	*
3; 5	2023	*	*	&	*	#	#	#	#	*

Примечание. # – значение соотношения у растений после облучения примерно соответствует растениям до облучения; & – значение соотношения у растений после облучения ниже, чем у растений до облучения; * – значение соотношения у растений после облучения выше, чем у растений до облучения.

Являясь сигнальной молекулой, салициловая кислота реагирует как на внутренние, так и на внешние сигналы и регулирует последующую экспрессию генов в различных биологических процессах. Известно, что концентрация SA резко возрастает на ключевых этапах диффе-

ренциации, таких как формирование однополых женских цветков, прорастание пыльцы, удлинение пыльцевой трубки и развитие завязи после оплодотворения (Luo et al., 2022). При изучении эндогенного гормонального профиля гаплоидных эмбрионов овса, полученных в ре-

зультате опыления пыльцой кукурузы, была отмечена значимая положительная корреляция между содержанием салициловой кислоты и успешностью при индукции удвоенных гаплоидов (Dziurka et al., 2019). Содержание салициловой кислоты было статистически значимо более высоким в гаплоидных эмбрионах по сравнению с зиготными эмбрионами двух сортов овса (Dziurka et al., 2022).

Накопление салициловой кислоты по сравнению с уровнями ауксинов и абсцизовой кислоты в ранний период после облучения, скорее всего, как защитный ответ растения на стресс, запускает пока неизвестные механизмы, способствующие развитию индуцированных апомиков.

Выводы. Следует отметить, что γ -облучение женского гаметофита в кастрированных растениях яровой мягкой пшеницы повышает процент разрастания завязей после опыления пыльцой кукурузы. Наилучшие результаты разрастания завязей отмечены после облучения в дозах: 15 Гр (зима 2019/2020, теплица), 5 и 10 Гр (2021 г., сосуды, естественная инсоляция), 5 Гр (2022 г., сосуды, естественная инсоляция), а также 3 и 5 Гр (2023 г., сосуды, естественная инсоляция).

Для γ -облучения кастрированных растений яровой мягкой пшеницы с целью увеличения

частоты разросшихся завязей после опыления женского гаметофита пыльцой кукурузы предлагается диапазон доз 3–15 Гр при мощности дозы 60 Гр/ч. Отмечено, что у вариантов с наилучшими показателями разросшихся завязей у кастрированных растений пшеницы после облучения и опыления пыльцой кукурузы характерно повышение значений соотношений SA/IAA и SA/ABA по отношению к этим же значениям до облучения.

Комплексность механизмов регуляции фитогормонального баланса в развитии растений в репродуктивной фазе диктует необходимость в дальнейших исследованиях влияния изменяющегося после облучения гормонального фона на развитие завязей, так как перекрестные взаимодействия фитогормонов имеют решающее значение для восприятия и передачи сигналов. Новые знания смогут пролить свет на механизмы, способствующие развитию индуцированных апомиков.

Финансирование. Часть исследований проведена в рамках Государственного задания «Исследования воздействия радиации на процессы жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов на генетическом, молекулярном и клеточном уровне с применением современных методов» (№ 5ф.6.3), НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ.

Библиографические ссылки

1. Битаршвили С. В., Волкова П. Ю., Гераськин С. А. Влияние γ -облучения семян на фитогормональный статус проростков ячменя // Физиология растений. 2018. Т. 65, № 3. С. 223–231. DOI: 10.7868/S0015330318030065
2. Воронов С. И., Лапочкина И. Ф., Макарова И. Ю., Яшина Н. А., Пишенин И. А., Бондаренко Е. В., Волкова П. Ю. Использование гамма-облучения женского гаметофита яровой мягкой пшеницы при скрещивании с кукурузой // Достижения и перспективы селекции и технологий возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Международной научной конференции, посвященной 140-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, лауреата Государственной премии, Героя Социалистического Труда Виктора Евграфовича Писарева. М., 2023. Т. 1, С. 68–79.
3. Дьячук Т. И., Акинина В. Н., Хомякова О. В., Калашникова Э. В. Отдаленная гибридизация как метод получения гаплоидных растений у злаков // Биотехнология и селекция растений. 2019. № 2(2). С. 44–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-44-52
4. Colak N., Kurt-Celebi A., Fauzan R., Torun H., Ayaz F.A. The protective effect of exogenous salicylic and gallic acids ameliorates the adverse effects of ionizing radiation stress in wheat seedlings by modulating the antioxidant defence system // Plant Physiol Biochem. 2021. Vol. 168, P. 526–545. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.10.020
5. Dziurka K., Dziurka M., Muszyńska E., Czyczyło-Mysza I., Warchoł M., Juzoń K., Laskoś K., Skrzypek E. Anatomical and hormonal factors determining the development of haploid and zygotic embryos of oat (*Avena sativa* L.) // Scientific Reports. 2022. Vol. 12(1), Article number: 548. DOI: 10.1038/s41598-021-04522-y
6. Dziurka K., Dziurka M., Warchoł M., Czyczyło-Mysza I., Marcińska I., Noga A., Kapłoniak K., Skrzypek E. Endogenous phytohormone profile during oat (*Avena sativa* L.) haploid embryo development // In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. 2019. Vol. 55(2), P. 221–229. DOI: 10.1007/s11627-019-09967-5
7. Jumali S. S., Said I. M., Ismail I., Zainal Z. Genes induced by high concentration of salicylic acid in *Mitragyna speciosa* // Australian Journal of Crop Science. 2011. Vol. 5(3), P. 296–303
8. Kazan, K. Auxin and the integration of environmental signals into plant root development // Annals of botany. 2013. Vol. 112(9), P. 1655–1665.
9. Luo Y., Liu M., Cao J., Cao F., Zhang L. The role of salicylic acid in plant flower development // Forestry Research. 2022. Vol. 2(1), Article number: 14. DOI: 10.48130/FR-2022-0014
10. Pienaar R. D. V., Niekerk H. V. The effect of gamma-irradiation on wheat gametophytes // Proc. 4th In. Wheat Genetics Symp. Missouri Agr. Exp. Sta., Columbia. Mo. 1973. P. 289–294.
11. Roychoudhury A., Aftab T. Phytohormones, plant growth regulators and signaling molecules: cross-talk and stress responses // Plant Cell Reports. 2021. Vol. 40, P. 1301–1303. DOI: 10.1007/s00299-021-02755-9

12. Wani S. H., Kumar V., Shriram V., Sah S. K. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants // *The Crop Journal*. 2016. Vol. 4(3), P. 162–176. DOI: 10.1016/j.cj.2016.01.010

References

1. Bitarishvili S. V., Volkova P. Yu., Geras'kin S. A. Vliyanie γ -oblucheniya semyan na fitogormonal'nyi status prorostkov yachmenya [Effect of seeds' γ -irradiation on the phytohormonal status of barley sprouts] // *Fiziologiya rastenii*. 2018. T. 65, № 3. S. 223–231. DOI: 10.7868/S0015330318030065
2. Voronov S. I., Lapochkina I. F., Makarova I. Yu., Yashina N. A., Pishenin I. A., Bondarenko E. V., Volkova P. Yu. Ispol'zovanie gamma-oblucheniya zhenskogo gametofita yarovoi myagkoi pshenitsy pri skreshchivanii s kukuruzoi [Use of gamma irradiation of the female gametophyte of spring common wheat when crossed with maize] // *Dostizheniya i perspektivy selektsii i tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 140-letiyu so dnya rozhdeniya doktora sel'skokhozyaistvennykh nauk, professora, laureata Gosudarstvennoi premii, Geroya Sotsialisticheskogo Truda Viktora Evgrafovicha Pisareva*. M., 2023. T. 1, S. 68–79.
3. D'yachuk T. I., Akinina V. N., Khomyakova O. V., Kalashnikova E. V. Otdalennaya gibridizatsiya kak metod polucheniya gaploidnykh rastenii u zlakov [Distant hybridization as a method for developing haploid cereal plants] // *Biotekhnologiya i selektsiya rastenii*. 2019. № 2(2). S. 44–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-44-52
4. Colak N., Kurt-Celebi A., Fauzan R., Torun H., Ayaz F.A. The protective effect of exogenous salicylic and gallic acids ameliorates the adverse effects of ionizing radiation stress in wheat seedlings by modulating the antioxidant defence system // *Plant Physiol Biochem*. 2021. Vol. 168, P. 526–545. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.10.020
5. Dziurka K., Dziurka M., Muszyńska E., Czyczyło-Mysza I., Warchoł M., Juzoń K., Laskoś K., Skrzypek E. Anatomical and hormonal factors determining the development of haploid and zygotic embryos of oat (*Avena sativa* L.) // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12(1), Article number: 548. DOI: 10.1038/s41598-021-04522-y
6. Dziurka K., Dziurka M., Warchoł M., Czyczyło-Mysza I., Marcińska I., Noga A., Kapłoniak K., Skrzypek E. Endogenous phytohormone profile during oat (*Avena sativa* L.) haploid embryo development // *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2019. Vol. 55(2), P. 221–229. DOI: 10.1007/s11627-019-09967-5
7. Jumali S. S., Said I. M., Ismail I., Zainal Z. Genes induced by high concentration of salicylic acid in *Mitragyna speciosa* // *Australian Journal of Crop Science*. 2011. Vol. 5(3), P. 296–303.
8. Kazan, K. Auxin and the integration of environmental signals into plant root development // *Annals of botany*. 2013. Vol. 112(9), P. 1655–1665.
9. Luo Y., Liu M., Cao J., Cao F., Zhang L. The role of salicylic acid in plant flower development // *Forestry Research*. 2022. Vol. 2(1), Article number: 14. DOI: 10.48130/FR-2022-0014
10. Pienaar R. D. V., Niekerk H. V. The effect of gamma-irradiation on wheat gametophytes // *Proc. 4th In. Wheat Genetics Symp. Missouri Agr. Exp. Sta., Columbia, Mo.* 1973. P. 289–294.
11. Roychoudhury A., Aftab T. Phytohormones, plant growth regulators and signaling molecules: cross-talk and stress responses // *Plant Cell Reports*. 2021. Vol. 40, P. 1301–1303. DOI: 10.1007/s00299-021-02755-9
12. Wani S. H., Kumar V., Shriram V., Sah S. K. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants // *The Crop Journal*. 2016. Vol. 4(3), P. 162–176. DOI: 10.1016/j.cj.2016.01.010

Поступила: 30.05.24; доработана после рецензирования: 17.07.24; принята к публикации: 17.07.24.

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. Лапочкина И. Ф., Волкова П. Ю., Бондаренко Е. В. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; Пишенин И. А., Макарова И. Ю., Яшина Н. А., Смирнова А. С., Казакова Е. А., Блинова Я. А., Празян А. А. – подготовка и выполнение экспериментальных (полевых и лабораторных) работ и сбор данных; Бондаренко Е. В. – статистическая обработка и визуализация данных; Лапочкина И. Ф., Волкова П. Ю., Бондаренко Е. В. – анализ данных и их интерпретация; Бондаренко Е. В. и Лапочкина И. Ф. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВА И МОНИТОРИНГ СОРТОВОГО СОСТАВА ВЫСЕЯННЫХ СЕМЯН ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

А. А. Донцова, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая отделом селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье представлен подробный анализ производства озимого ячменя за многолетний период с учетом его посевных площадей, валовых сборов и урожайности в хозяйствах всех категорий в Российской Федерации и Ростовской области. Цель наших исследований заключалась в оценке производства и проведении мониторинга сортового состава высеваемых семян озимого ячменя в Ростовской области. В регионе посевные площади, занимаемые озимым ячменем, ежегодно составляют более 41,1 тыс. га со средней урожайностью 3,9 т/га. Проведен анализ высеваемых сортов озимого ячменя в Ростовской области по годам внесения их в Госреестр РФ. В результате исследований обнаружено, что количество сортов ячменя, внесенных в Госреестр, в период до 4 лет составило 6–9 единиц, в период 5–8 лет – 4 единицы, в период 9–12 лет – 5–6 единиц, в период более 12 лет – 4–6 единиц. Установлено, что наибольшая площадь посевов озимого ячменя была занята сортами местной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (49,5–58,5 %), около 16,0–25,1 % площадей занято было сортами Краснодарской селекции ФГБНУ «НЗЦ им. П. П. Лукьяненко». Выяснено, что наиболее востребованными в Ростовской области за последние три года являлись следующие сорта: Ерема (18,2–18,4 %), Тимофей (12,5–13,3 %), Виват (11,9–12,7 %), Маруся (5,7–12,6 %), Фокс 1 (1,9–3,6 %), Каррера (8,7–13,2 %), Иосиф (7,4–10,2 %), Добрыня 3 (1,8–2,9 %), Самсон (0,6–3,4 %), Луран (0,8–4,5 %) и Достойный (2,6–8,5 %). Таким образом, для повышения производства зерна озимого ячменя в условиях Ростовской области необходимо возделывать сорта, наиболее адаптированные к местным условиям, обладающие высокой продуктивностью и качеством зерна, внесенные в Госреестр по Северо-Кавказскому региону.

Ключевые слова: озимый ячмень, урожайность, посевная площадь, сорт, семена.

Для цитирования: Филенко Г. А., Донцова А. А., Скворцова Ю. Г. Оценка производства и мониторинга сортового состава высеванных семян озимого ячменя в Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 60–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-60-66.



ESTIMATION OF PRODUCTION AND MONITORING OF A VARIETAL COMPOSITION OF THE SOWN WINTER BARLEY SEEDS IN THE ROSTOV REGION

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;

A. A. Dontsova, Candidate of Agricultural Sciences, head of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented a detailed analysis of the production of winter barley over a long period, taking into account their sown areas, gross yields and productivity in farms of all categories in the Russian Federation and the Rostov region. The purpose of the study was to estimate the production and monitor the varietal composition of sown winter barley seeds in the Rostov region. In the region, the sown area occupied by winter barley annually amounts to more than 41.1 thousand hectares with a mean yield of 3.9 t/ha. An analysis of the sown winter barley varieties in the Rostov region was carried out according to the year they were included in the State List of the Russian Federation. As a result of study, there was found that there were 6–9 barley varieties included in the State List in the period up to 4 years; 4 ones in the period of 5–8 years; 5–6 ones in the period of 9–12 years; 4–6 ones in the period of more than 12 years. There was established that the largest area under winter barley was occupied by the varieties of local breeding of the FSBSI "ARC "Donskoy" (49.5–58.5 %), about 16.0–25.1 % of the area was occupied by the varieties of the Krasnodar breeding of the FSBSI "NGC named after P.P. Lukyanenko". There was found out that the most popular varieties in the Rostov region over the past three years were the varieties 'Erema' (18.4–18.4 %), 'Timofey' (12.5–13.3 %), 'Vivat' (11.9–12.7 %), 'Marusya' (5.7–12.6 %), 'Foks 1' (1.9–3.6 %), 'Karrera' (8.7–13.2 %), 'Iosif' (7.4–10.2 %), 'Dobrynya 3' (1.8–2.9 %), 'Samson' (0.6–3.4 %), 'Luran' (0.8–4.5 %) and 'Dostoiny' (2.6–8.5 %). Thus, to improve the production of winter barley grain in the Rostov region, it is necessary to cultivate varieties that are most adapted to local conditions, have high productivity and grain quality, and are included in the State List for the North Caucasus region.

Keywords: winter barley, productivity, sown area, variety, seeds.

Введение. Ячмень (*Hordeum*) – популярная злаковая культура, возделываемая во всем мире, которая используется в кормовой индустрии, пивоварении и ряде других сегментов пищевой промышленности, с самым крупным спектром производственных площадей в мире. Из-за своей обширной адаптации ячмень высевается на самых возвышенных точках Гималаев и Анд; рядом с пустынями Ближнего Востока, Африки и Китая, недалеко от Арктического круга, в северных районах Азии, странах Северной Америки и Европы (Elakhdar et al., 2022; Алабушев и др., 2018). В настоящее время производство зерна в мире в первую очередь представлено пшеницей, второе место по значению занимает ячмень, а на третьем – кукуруза, на долю этих культур приходится примерно 94 % сборов всех зерновых культур в мире. Валовой сбор ячменя в мире в период с 2000 по 2018 г. варьировал в пределах от 127,0 до 141,0 млн тонн. В 2019 г. данный показатель составил 155,8 млн т, а в 2020 г. вырос на 0,6 % и составил 160,0 млн т (Анашкин и Альшинаиин, 2022). Крупнейшими странами-производителями и экспортерами ячменя, возделываемыми больше половины (60,9 %) мировых объемов данной культуры, являются Австралия, Канада, Россия и страны европейского континента (Франция, Украина, Румыния, Великобритания, Германия и Дания), где сконцентрирована основная доля всего мирового производства ячменя (Georgieva и Kosev, 2022; Радченко и др., 2021; Репко и Коблянский, 2019).

Производство ячменя в Российской Федерации в среднем составляет около 19,5 млн т. В период с 2018–2020 гг. была зафиксирована устойчивая тенденция по увеличению объемов производства ячменя с 17,0 млн т (2018 г.) до 20,8 млн т. (2020 г.). Затем в 2021 г. произошло снижение количества объемов произведенного ячменя до уровня 18,0 млн т, а в 2022 г., напротив, отмечалась положительная динамика по стабилизации производства ячменя до рекордных 21,5 млн т (URL: <https://fedstat.ru>). На территории Российской Федерации возделывается два основных вида ячменя: озимый и яровой. Несмотря на тот факт, что озимые сорта более урожайные, их удельный вес ежегодно составляет не более 10–15 % от общего количества площадей, отведенных под ячмень, а доля яровых форм устойчиво находится

на уровне 85–90 % от всех посевов. Но именно озимый ячмень пользуется в последнее время высоким спросом, посевная площадь которого в стране за последние десять лет варьировала в пределах от 292,0 до 758,5 тыс. га при средней урожайности 3,8 т/га. Посевы ячменя сосредоточены преимущественно в благоприятных субъектах Российской Федерации, а именно в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. Среди ключевых регионов по выращиванию озимого ячменя следует выделить следующие: Краснодарский и Ставропольский край, Республика Крым и Ростовская область (Гудзенко, 2019; Донцова и др., 2016).

Цель наших исследований заключалась в оценке производства и проведении мониторинга сортового состава высеваемых семян озимого ячменя в Ростовской области.

Результаты и их обсуждение. Почвенно-климатические условия в некоторых зонах Ростовской области в целом благоприятны для возделывания озимого ячменя, который является одной из самых продуктивных зерновых культур в регионе из-за его высокой потенциальной урожайности, скороспелости и неприхотливости, которая обусловлена особенностями формирования продуктивности. Следует отметить тот факт, что посевные площади озимого ячменя в Ростовской области в среднем из года в год колеблются в пределах от 31,5–57,3 тыс. га в зависимости климатических условий, складывающихся в регионе, и от коммерческого спроса на данную культуру. Наибольшая посевная площадь была отмечена в 2020 г. – 57,3 тыс. га; наименьшая в 2021 г. – 31,5 тыс. га. Валовой сбор озимого ячменя в регионе зависит прежде всего от его урожайности и посевных площадей, занимаемых данной культурой, и ежегодно колеблется в пределах от 120,6 до 212,0 тыс. т зерна. Самый высокий валовой сбор зерна озимого ячменя был собран в 2020/2021 г. – около 212,0 тыс. т, минимальный в 2018/2019 г. – 120,6 тыс. т, когда отмечались самая низкая посевная площадь и урожайность культуры в области. Урожайность ячменя в период с 2014 по 2022 г. в регионе сильно изменялась как по годам, так и в среднем и находилась на уровне 3,9 т/га. Из восьми анализируемых лет наибольшая урожайность была получена в 2017/2018 г. – около 4,5 т/га, наименьшая в 2018/2019 г. – 3,6 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Динамика посевных площадей, урожайности и валовых сборов озимого ячменя в Ростовской области (2014–2022 гг.)*
Table 1. Dynamics of sown areas, productivity and gross yields of winter barley in the Rostov region (2014–2022)*

Показатели	Годы								Среднее
	2014–2015	2015–2016	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022	
Посевные площади, тыс. га	34,8	34,6	38,1	33,5	33,5	50,7	57,3	46,5	41,1
Урожайность, т/га	3,7	4,0	4,1	4,5	3,6	4,0	3,7	3,9	3,9
Валовой сбор, тыс. т.	128,8	128,0	156,2	150,8	120,6	197,7	212,0	181,4	159,4

Примечание. * – по данным <https://fedstat.ru>.

В повышении эффективности производства ячменя немалое значение имеет создание и внедрение в производство новых высокоурожайных и перспективных сортов. Возделывание таких сортов позволяет хозяйствам не только заметно увеличить валовые сборы, но и повысить урожайность под данной культурой.

Многолетними исследованиями разных ученых было выявлено, что наличие на юге Российской Федерации различных природно-климатических зон указывает на необходимость использования широкого разнообразия сортов озимого ячменя. Анализ сортового состава озимого ячменя по Северо-Кавказскому региону региона показал, что по состоянию на 2022 г. по Ростовской области были допу-

щены к использованию 47 сортов (28 из которых охраняются патентом), из них семь относятся к сортам-двуручкам (Виват, Достойный, Маруся, Тимофей, Мастер, Росава, Шторм). Сорта, включенные в Госреестр, большей частью представлены следующими научными учреждениями: ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко», ФГБНУ «АНЦ Донской», ФГБНУ «СКФНАЦ», на долю этих селекционных центров приходится примерно 64,4 % от всех внесенных в реестр сортов (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, 2022).

В таблице 2 представлены научные учреждения и оригинаторы, сорта которых районированы для использования в условиях Северо-Кавказского региона.

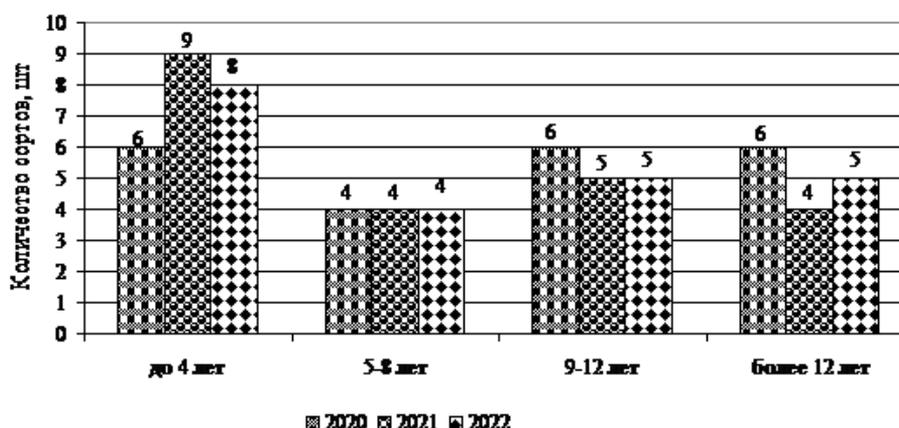
Таблица 2. Сорта озимого ячменя, включенные в Госреестр и рекомендованные для возделывания по Северо-Кавказскому региону (2022 г.)*
Table 2. Winter barley varieties included in the State List and recommended for cultivation in the North Caucasus region (2022)*

Научные учреждения и оригинаторы	Количество сортов, шт.	Название
ФГБНУ «АНЦ «Донской»	6	Виват, Ерема, Маруся, Тимофей, Фокс 1, Жигули
ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко»	20	Вася, Гордей, Добрыня 3, Иосиф, Кладенец, Лазарь, Мадар, Михайло, Павел, Платон, Романс, Рубеж, Самсон, Сармат, Серп, Спринтер, Стратег, Федор, Хуторок, Юрий
ФГБНУ «СКФНАЦ»	7	Шторм, Эспада, Трудивник, Кузен, Купец, Достойный, Валерий
ФГБНУ «НИИСХК»	5	Огоньковский, Онега, Восход, Буран, Мастер
ООО «Агростандарт»	2	Версаль, Каррера
Иностранная селекция	1	Луран
Другие оригинаторы	6	Союз, Росава, Ковчег, Дагестанский золотистый, Андрияша

Примечание. *По данным <https://reestr.gossortrf.ru/>.

Следует отметить, что, несмотря на немалое многообразие и количество сортов озимого ячменя, внесенных в Госреестр по Северо-Кавказскому региону, в области каждый год возделывается в среднем около 22 сортов, которые значительно различаются по урожайности, группе спелости, зимостойкости, засу-

хоустойчивости и устойчивости к болезням. В результате анализа данных было выявлено, что общее количество сортов ячменя, внесенных в Госреестр, в период до 4 лет составило 6–9 единиц, в период 5–8 лет – 4 единицы, в период 9–12 лет – 5–6 единиц, в период более 12 лет – 4–6 единиц (рис. 1).



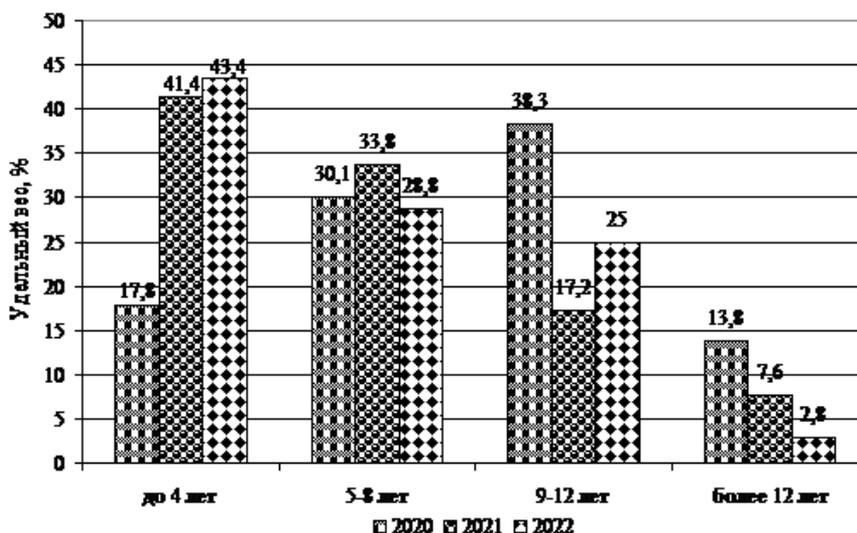
Примечание. По данным Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию (2022).

Рис. 1. Распределение сортов озимого ячменя, высеванных в Ростовской области, по году внесения в Госреестр, шт. (2020–2022 гг.)

Fig. 1. Distribution of winter barley varieties sown in the Rostov region, according to the year they were included into the State List, pcs. (2020–2022)

Анализ удельного веса сортов озимого ячменя, высеянных в Ростовской области (2020–2023 гг.), показал, что посевные площади под относительно новыми сортами, возделываемыми в производстве более 4 лет, увеличились с 17,8 до 43,4 %.

У сортов, используемых в производстве более 12 лет, этот показатель, напротив, уменьшился с 13,8 до 2,8 %. Аналогичная тенденция наблюдалась с группой сортов, внесенных в Госреестр более 5–8 лет (33,8–28,8 %) и 9–12 лет (38,3–17,2 %) (рис. 2).

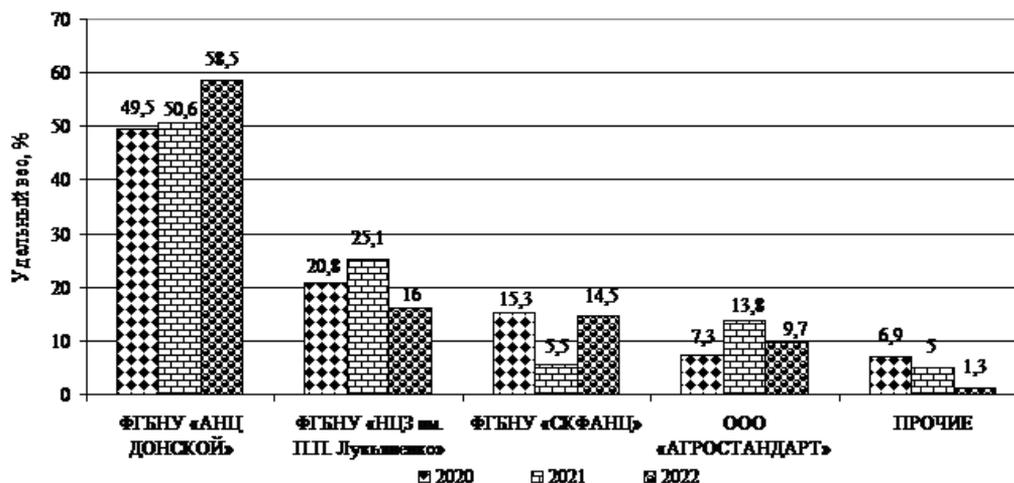


Примечание. По данным Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию (2022).

Рис. 2. Удельный вес высеянных сортов озимого ячменя в Ростовской области, по году внесения в Госреестр, % (2020–2022 гг.)
 Fig. 2. The share of winter barley varieties sown in the Rostov region, according to the year they were included into the State List, % (2020–2022)

Возделываемые в производственных посевах сорта озимого ячменя в условиях Ростовской области по своему происхождению различны. Наши исследования показали, что наибольшая площадь посевов озимого ячменя за анализируемый период была занята сортами местной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (49,5–58,5 %), около 16,0–25,1 % площадей занято было сортами ФГБНУ «НЗЦ им. П. П. Лукьяненко».

Удельный вес сортов ставропольских селекционеров ФГБНУ «СКФАНЦ» в регионе находился на уровне 5,5–15,3 %. Сорта краснодарской селекции, оригинатором и патентообладателем которых является ООО «АгроСтандарт», занимали 7,3–13,8 % от всех возделываемых в регионе сортов. Небольшие площади, примерно 1,3–6,9 %, были заняты сортами других отечественных и иностранных селекционных центров (рис. 3).

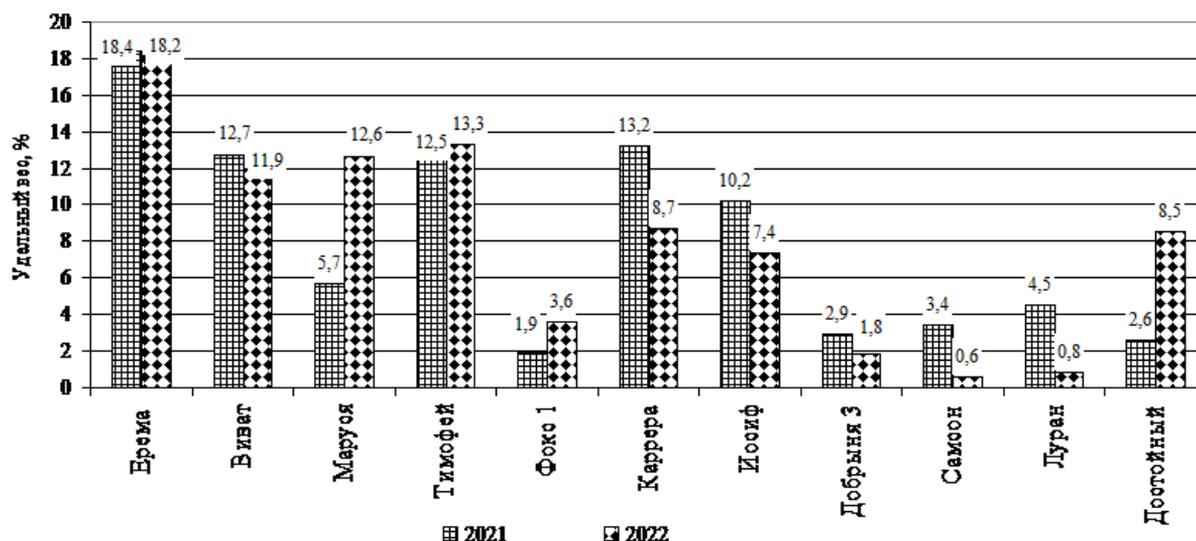


Примечание. По данным <https://mcx.donland.ru/>.

Рис. 3. Распределение высеянных сортов озимого ячменя по регионам их происхождения в Ростовской области (2020–2022 гг.)
 Fig. 3. Distribution of winter barley varieties sown in the Rostov region, according to the region of origin (2020–2022)

В 2021–2022 гг. было установлено, что в Ростовской области более 88 % посевных площадей озимого ячменя занимали одиннадцать сортов: Ерема (18,2–18,4 %), Тимофей (12,5–13,3 %), Виват (11,9–12,7 %), Маруся (5,7–12,6 %), Фокс 1 (1,9–3,6 %), Каррера (8,7–13,2 %), Иосиф (7,4–10,2 %), Добрыня 3 (1,8–2,9 %), Самсон (0,6–3,4 %) Луран (0,8–4,5 %) и Достойный (2,6–

8,5 %). Следует отметить тот факт, что в регионе удельный вес под такими сортами, как Ерема, Виват, Маруся, Тимофей, Фокс 1 и Достойный, незначительно увеличился по сравнению предыдущим годом. Иная тенденция прослеживалась у таких сортов, как (Каррера, Иосиф, Добрыня 3, Самсон и Луран), где данный показатель, напротив, уменьшился (рис. 4).



Примечание. По данным <https://mcs.donland.ru/>.

Рис. 4. Наиболее востребованные высеянные сорта озимого ячменя в Ростовской области, % (2021–2022 гг.)
Fig. 4. The most demanded winter barley varieties in the Rostov region, % (2021–2022)

В настоящее время весь семенной материал сельскохозяйственных культур в соответствии с нормативными требованиями на сортовые и посевные качества (ГОСТ Р-52325-2005) систематизируется по репродукциям: на оригинальные (ОС), элитные (ЭС), репродукционные (РС₁₋₄). В ходе анализа было установлено, что объем высеянных сортовых семян озимого ячменя в хозяйствах всех категорий собственности в Ростовской области за последние десять лет значительно изменялся по годам. Наибольший объем высеянных семян в условиях Ростовской области отмечался в 2019 г. – 9481,1 т, наименьший в 2013 г. – 5454,7 тонн. За аналогичный период количество высеянных оригинальных семян находилось в пределах от 59,7 до 191,6 т; элитных (ЭС) – от 660,5 до 1840,6 т; репродукци-

онных (РС₁₋₄) – от 4728,7 до 7110,5 т. При определении среднегодовых объемов категорий высеяемых семян озимого ячменя было установлено, что удельный вес семян озимого ячменя категории ОС (оригинальные семена – семена питомников размножения и суперэлиты) изменялся от 1,2 до 3,2%; категории элитные ЭС (элитные семена) – от 10,9 до 20,5%; семян категории РС₍₁₋₄₎ – от 74,9 до 86,7 %. Следует отметить тот факт, что в регионе не прослеживается стабильной динамики по улучшению качества репродукционного состава семян. Так, в течение трех лет ежегодно отмечается рост удельного веса оригинальных и элитных семян, затем в последующие годы прослеживается тенденция по их снижению (табл. 3).

Таблица 3. Репродукционный состав высеяемых семян озимого ячменя в Ростовской области (2013–2022 гг.)
Table 3. Reproductive composition of winter barley seeds sown in the Rostov region (2013–2022)

Год	Количество высеянных семян т	Категории семян					
		Оригинальные (ОС)		Элитные (ЭС)		Репродукционные (РС ₁₋₄)	
		т	%	т	%	т	%
2013	5454,7	65,5	1,2	660,5	12,1	4728,7	86,7
2014	6760,2	106,5	1,6	740,8	10,9	5912,9	78,2
2015	6812,8	128,6	1,9	1397,0	20,5	5287,2	77,6
2016	7405,5	108,6	1,5	956,0	12,9	6340,9	85,6
2017	5937,9	191,6	3,2	1115,3	18,8	4631,0	78,0
2018	8066,1	143,1	1,8	1294,5	16	6528,5	80,9

Продолжение табл. 3

Год	Количество высеянных семян	Категории семян					
		Оригинальные (ОС)		Элитные (ЭС)		Репродукционные (РС ₁₋₄)	
		т	%	т	%	т	%
2019	9481,1	161,9	1,7	1569,7	16,6	7102,6	74,9
2020	9166,1	190,6	2,1	1840,6	20,1	7110,5	77,6
2021	6397,1	138,6	2,2	875,8	13,7	5382,7	84,1
2022	7293,3	59,7	0,8	953,2	13,1	6280,4	86,1

Таким образом, мониторинг репродукционного состава в производственных посевах озимого ячменя в условиях Ростовской области показал, что удельный вес под высеянными элитными семенами, ежегодно соответствует научно обоснованной потребности в элитных семенах (15%), а доля оригинальных семян (5%), напротив, не отвечает данному уровню и остается ниже рекомендуемого.

Выводы. Для повышения производства зерна необходимо возделывать сорта, наиболее адаптированные к местным условиям, обладающие высокой продуктивностью и качеством зерна. В структуре посевной площади максимальную долю занимали сорта, находящиеся в производстве более 4 лет, их удельный вес увеличился с 17,8 до 43,8%; у сортов других групп, используемых в производстве, данный показатель, напротив, снизился. Наибольшие площади посева озимого ячменя в условиях Ростовской области были заняты под сортами местной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (49,5–58,5%), краснодарской селекции ФГБНУ «НЗЦ им. П. П. Лукьяненко» (16,0–25,1%)

и ставропольской селекции ФГБНУ «СКФАНЦ» (5,5–15,3%). Для повышения производства зерна необходимо возделывать сорта, наиболее адаптированные к местным условиям, обладающие высокой продуктивностью и качеством зерна. Наиболее перспективными сортами для выращивания в области являются Ерема, Тимофей, Виват, Маруся, Фокс 1, Каррера, Иосиф, Добрыня 3, Самсон, Луран и Достойный.

При определении качества репродукционного состава семян было установлено, что удельный вес оригинальных семян (ОС) изменялся от 1,2–3,2%, элитных семян (ЭС) – от 10,9–20,1% и репродукционных семян РС₍₁₋₄₎ – от 74,9–86,7%. Поэтому для обеспечения сельхозтоваропроизводителей региона высококачественными семенами необходимо проводить ежегодно мероприятия по улучшению сортовых качеств семян путем усовершенствования структуры семеноводческих посевов, то есть доведением их удельного веса в общей площади посевов до научно обоснованной потребности.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Попов А. С., Лысенко А. А., Яценко В. А. Урожайность и качество сортов озимого ячменя в восточной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 21–24. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-21-24
2. Анашкин А. В., Альшина И. И., Х. Д. Д. Производство ячменя в республике Ирак // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1. С. 287–295.
3. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 646 с.
4. Гудзенко, В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 1. С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469
5. Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Терновая Е. А. Производство ячменя в мире и России // Зерновое хозяйство России. 2016. № 6. С. 7–13.
6. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения 28.02.01.2023).
7. Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л., Радченко А. Ф. Влияние норм высева озимого ячменя на зерновую и семенную продуктивность // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 187–194. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-187-194
8. Репко Н. В., Коблянский А. С. Изменчивость посевных качеств семян озимого ячменя в зависимости от элементов технологии его возделывания // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 76. С. 109–115. DOI: 10.21515/1999-1703-76-109-115
9. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T., Calvin O. Qualset Barley with Improved Drought Tolerance: Challenges and Perspectives // Environmental and Experimental Botany. 2022. Vol. 201(110), Article number: 104965. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965
10. Georgieva N., Kosev V. Оптимальные параметры модельных сортов кормовых бобов (*Vicia faba* L.) для центральной части Дунайской равнины, Болгария // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 3. Р. 544–551. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.544rus

References

1. Alabushev A. V., Popov A. S., Lysenko A. A., Yatsenko V. A. Urozhainost' i kachestvo sortov ozimogo yachmenya v vostochnoi zone Rostovskoi oblasti [Productivity and quality of winter barley

- varieties in the eastern part of the Rostov region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2018. № 4(58). S. 21–24. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-58-4-21-24
2. Anashkin A. V., Al'shinaiin Kh. D. D. Proizvodstvo yachmenya v respublike Irak [Barley production in the Republic of Iraq] // *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya*. 2022. № 1. S. 287–295.
3. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu [State List of Breeding Achievements approved for use]. T.1. «Sorta rastenii» (ofitsial'noe izdanie). M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2022. 646 s.
4. Gudzenko, V. N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh liniy yachmenya ozimogo [Statistical and graphical (GGE biplot) estimation of the adaptive capacity and stability of winter barley breeding lines] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2019. T. 23, № 1. S. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469
5. Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Ternovaya E. A. Proizvodstvo yachmenya v mire i Rossii [Barley production in the world and Russia] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2016. № 6. S. 7–13.
6. Edinaya mezhhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema [Unified interdepartmental information and statistical system] [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.fedstat.ru> (data obrashcheniya 28.02.01.2023).
7. Radchenko L. A., Ganotskaya T. L., Radchenko A. F. Vliyanie norm vyseva ozimogo yachmenya na zernovuyu i semennuyu produktivnost' [The effect of winter barley seeding rates on grain and seed productivity] // *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki*. 2021. № 1(25). S. 187–194. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-187-194
8. Repko N. V., Koblyanskii A. S. Izmenchivost' posevnykh kachestv semyan ozimogo yachmenya v zavisimosti ot elementov tekhnologii ego vozdeleyvaniya [Variability of sowing qualities of winter barley seeds depending on the elements of its cultivation technology] // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 76. S. 109–115. DOI: 10.21515/1999-1703-76-109-115
9. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T., Calvin O. Qualset Barley with Improved Drought Tolerance: Challenges and Perspectives // *Environmental and Experimental Botany*. 2022. Vol. 201(110), Article number: 104965. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965
10. Georgieva N., Kosev V. Optimal'nye parametry model'nykh sortov kormovykh bobov (Vicia, faba L.) dlya tsentral'noi chasti Dunaiskoi ravniny, Bolgariya [Optimal parameters of model varieties of field beans (Vicia, faba L.) for the central part of the Danube Plain, Bulgaria] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2020. T. 55, № 3. P. 544–551. DOI: 10.15389/agrobiol.2020.3.544rus

Поступила: 20.05.24; доработана после рецензирования: 31.07.24; принята к публикации: 31.07.24.

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. Филенко Г. А. – концептуализация исследования, выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Донцова А. А. – анализ данных и их интерпретация; Скворцова Ю. Г. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ УСЛОВИЙ СРЕДЫ И ОЦЕНКА СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ТВЕРДОЙ ПО ЧИСЛУ ПАДЕНИЯ

П. Н. Мальчиков^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, sagrs-mal@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-2141-6836

М. Г. Мясникова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой твердой пшеницы, marina.myasnikova-61@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7224-0308;

Е. Н. Шаболкина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории технологического сервиса, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;

Л. В. Пронович¹, научный сотрудник лаборатории селекции перспективного генетического материала и молекулярно-биологических и физиологических исследований, Lpronovitch@yandex, ORCID ID: 0000-0002-7481-1258

¹Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова, 446254, Самарская обл., п. Безенчук, ул. Карла Маркса, д. 41; e-mail: samniish@mail.ru;

²ФИЦ Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 10; e-mail: sagrs-mal@mail.ru

Цель исследований – определить дифференцирующую способность условий среды и оценить сорта пшеницы твердой яровой селекции Самарского НИИСХ по числу падения (ЧП). Изучено 19 сортов и три селекционные линии, представлявшие 3–6-й этапы селекции. Селекционные линии по хронологии создания относятся к 6 этапу. В качестве стандарта были использованы данные по сорту Безенчукская 139. Изучение проведено в степной зоне на тяжелосуглинистых черноземах экспериментального поля Самарского НИИСХ в 2018–2023 годах. ЧП определяли на пробах зерна, взятых с двух повторений на приборе «Falling Number» Хагберга – Пертена. Рассчитывали варианты генотипа, среды, их взаимодействия, параметры общей (OAC_i), специфической (CAC_i), относительной адаптивности (S_{gi}), селекционной ценности генотипа ($СЦГ_i$), коэффициенты нелинейности (L_{gi}), компенсации генотипа (K_{gi}), параметры дифференцирующей способности среды (DCC_s) и ее относительной величины (S_{ek}), коэффициенты типичности (tt_k), предсказуемости среды (P_k). Установлено влияние на ЧП эффектов генотипа – 6,01 %, среды – 72,24 % и взаимодействия «генотип–среда» – 16,86 %. В группу лучших по $СЦГ_i$, с учетом параметров OAC_i , включены следующие генотипы: Мариана ($OAC_i = 10,3$, $СЦГ_i = 228,7$), 2084Д-6 ($OAC_i = 41,8$, $СЦГ_i = 217,5$), Безенчукская юбилейная ($OAC_i = 25,8$, $СЦГ_i = 211,8$), Безенчукская золотистая ($OAC_i = 11,7$, $СЦГ_i = 221,7$). У стандарта эти параметры составили: $OAC_i = -27,0$; $СЦГ_i = 205,6$. Среди 6 изученных фонов по DCC_k (182–241), коэффициенту S_{ek} (42–90), коэффициенту K_{ek} (3,26–5,71) выделены 5 анализирующих фонов и один стабилизирующий, выделившийся высокими оценками типичности ($tt_k = 0,83$) и предсказуемости ($P_k = 0,32$), что позволяет прогнозировать реакцию сортов в системе сред. В целом условия среды экспериментального поля Самарского НИИСХ, складывающиеся в течение нескольких лет, формируют достаточно эффективную систему фонов для отбора и стабилизации признака «число падения» пшеницы твердой яровой.

Ключевые слова: пшеница твердая, сорт, число падения, адаптивность, стабильность, селекция.

Для цитирования: Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г., Шаболкина Е. Н., Пронович Л. В. Дифференцирующая способность условий среды и оценка сортов яровой пшеницы твердой по числу падения // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 67–74. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-67-74.



DIFFERENTIATING ABILITY OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ESTIMATION OF SPRING DURUM WHEAT VARIETIES ACCORDING TO FALLING NUMBER

P. N. Malchikov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for spring durum wheat breeding, sagrs-mal@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2141-6836;

M. G. Myasnikova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring durum wheat breeding, marina.myasnikova-61@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7224-0308;

E. N. Shabolkina¹, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for technical and analytical service, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;

L. V. Pronovich¹, researcher of the laboratory for promising genetic material breeding and molecular biology and physiology study, Lpronovitch@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7481-1258

¹Samarsky Federal Research Center RAS, Samarsky Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov, 446254, Samara region, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru;

²The Federal Research Center "Institute of Cytology and Genetics", Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk, Prospekt Lavrentyeva, 10; e-mail: sagrs-mal@mail.ru

The purpose of the current study was to identify the differentiating ability of environmental conditions and estimate spring durum wheat varieties developed by the Samarsky RIA according to a falling number (FN). There were studied 19 varieties and 3 breeding lines, representing 3–6 breeding stages. According to the chronology of development, breeding lines belong to the 6th stage. Data on the Bezenchukskaya 139 variety were used as a standard. The study was carried out in the steppe zone, on heavy loamy chernozems of the experimental plot of the Samarsky RIA in 2018–2023. FN was determined on grain samples taken from 2 repetitions on the Hagberg-Perten device "Falling Number". In 2023, the factor 'environment' was represented by four backgrounds: 1) grain samples 1 month after harvesting at full maturity; 2) grain samples a month after harvesting with a dead-ripe stage of 7 days; 3) grain of the first option after 6 months of storage; 4) grain harvested at the moment of maturing and moistened after 6 months of storage. There were calculated genotype variances, environment, their correlation, parameters of general (GAC_i), specific (CAC_i), relative adaptability (S_{gi}), breeding value of a genotype (GBV_i), linearity coefficients (L_{gi}), genotype compensation (K_{gi}), parameters of the environment differentiating ability (EDA_k) and its relative value (S_{ek}), typicality coefficients (tt_k), environment predictability (P_k). There was established that FN was affected by a genotype with a share of 6,01 %, by environment with a share of 72,24 % and by a genotype-environment correlation with a share of 16,86 %. The best genotypes in terms of SVG, taking into account the GAC_i parameters, include the following: Marina ($GAC_i = 10,3$, $SVG_i = 228,7$), 2084D-6 ($GAC_i = 41,8$, $SVG_i = 208,6$), Bezenchukskaya Yubileinaya ($GAC_i = 25,8$, $SVG_i = 211,8$), Bezenchukskaya Zolotistaya ($GAC_i = 11,7$, $SVG_i = 221,7$). For the standard, these parameters were $GAC_i = -27,0$, $SVG_i = 205,6$. Among the 6 studied backgrounds by DCE_k (182–241), S_{ek} coefficient (42–90), K_{ek} coefficient (3,26–5,71), 5 analyzing backgrounds and one stabilizing one were identified, distinguished by high estimates of typicality ($tt_k = 0,83$) and predictability ($P_k = 0,32$), which allows predicting the response of varieties in the system of environments. In general, the environmental conditions of the experimental field of the Samara Research Institute of Agriculture, which have been developing over several years, form a fairly effective system of backgrounds for the selection and stabilization of the "falling number" trait of spring wheat durum.

Keywords: durum wheat, variety, falling number, adaptability, stability, selection.

Введение. Зерно пшеницы твердой – уникальное сырье для производства высококачественных макаронных и крупяных изделий, что объясняется особенностями строения белка, крахмала и процессов накопления и сохранения в процессе изготовления конечных продуктов желтых пигментов. Качество макаронных изделий, определяемых при варке (разваримость, прочность, цвет, содержание сухих веществ в варочной воде), в определенной степени зависят от вышеперечисленных качественных характеристик зерна и клейковины (Beres et al., 2020). Фенотипическое проявление всех признаков в той или иной степени зависит от условий среды и генотипа. Значительное снижение качества зерна и конечных продуктов из него вызывают процессы прорастания зерна на корню. Проросшее зерно теряет цвет, стекловидность, натуру, уменьшается содержание желтых пигментов, выход муки, крупки, снижается качество клейковины.

Известно, что краснозерные генотипы проявляют более высокую устойчивость к прорастанию, чем белозерные, к которым относятся все коммерческие сорта пшеницы твердой, что обостряет проблему создания устойчивых сортов. В большинстве случаев провокационные для прорастания зерна фоны формируются после окончания стадии покоя при благоприятных условиях увлажнения (осадки, росы, туман, низкие температуры). Воздействие этих факторов активизирует фермент α -амилаза, разрушающий крахмал эндосперма.

Склонность сортов к прорастанию также связана с наличием мутантных генов, которые активизируются в середине процесса созревания, что приводит к повышению уровня late maturity α -amylase – LMA – поздней амилазы (Cannon et al., 2022; Piri et al., 2023). Таким образом, двумя основными причинами повышенного уровня α -амилазы в зерне пшеницы являются прорастание после стадии покоя со-

зревшего в колосе зерна перед уборкой и активация α -амилазы позднего созревания (LMA) в период мягкого зерна (конец молочно-восковой – восковая спелость) под воздействием низких температур, приводящая к эффекту либо прорастания еще не созревшего зерна, либо его быстрого прорастания после созревания.

Устойчивость к предуборочному прорастанию зерна пшеницы определяется четырьмя способами: 1) определение индекса прорастания при проращивании семян в лабораторных условиях; 2) определение степени и динамики прорастания зерна при увлажнении колосьев в лабораторных условиях; 3) определение числа падения (ЧП) по Хагбергу – Пертену (Perten, 1964); 4) определение активности α -амилазы. Информативность и производительность метода определения ЧП являются его основными достоинствами для широкого применения в селекционной практике. Метод основан на биохимических закономерностях, протекающих в крахмале эндосперма при прорастании зерна, вызываемых гидролитической активностью альфа-амилазы, снижающей количество крахмала и изменяющей его свойства. Чем больше степень гидролиза крахмала, тем выше скорость опускания шток-мешалки в пробирке прибора. Скорость опускания измеряется в секундах, время опускания называется «число падения». В соответствии с ГОСТ 9353-2016 зерно первого и второго класса пшеницы в России ограничено 200 с. В некоторых зарубежных странах введены более жесткие ограничения по ЧП. В частности, в Австралии оно составляет 350 с, в Канаде – 400 с. В селекционной практике применяют следующую шкалу по ЧП: 150–200 с и ниже – низкое, 200–250 с – среднее, выше 300 с – высокое (Чухеева, 2020).

В последние годы в основных регионах возделывания яровой пшеницы твердой произошло увеличение частоты лет с провока-

ционными для прорастания зерна условия среды (Чახеева, 2020; Гапонов и др., 2024). Актуальность этой селекционной тематики будет возрастать с расширением ареала возделывания пшеницы твердой в регионе Северного Поволжья с повышенным уровнем осадков в период налива и созревания зерна (Ложкин и др., 2024). В связи с этим цель исследований – определить дифференцирующую способность условий среды и оценить сорта твердой пшеницы яровой селекции Самарского НИИСХ по числу падения.

Материалы и методы исследований.

Объектами исследований были сорта конкурсного сортоиспытания и селекционные линии пшеницы твердой Самарского НИИСХ. Всего было изучено 19 сортов, из них один (Харьковская 46) относится к 3-му, стандартный сорт Безенчукская 139 к 4-му, Безенчукская 182 и Безенчукская степная к 5-му, все остальные сорта – к шестому этапу селекции. Три селекционные линии по времени создания также отнесены к 6-му этапу. Посев опытных делянок проводили в оптимальные сроки на делянках 20,0 м² в 4-кратной повторности с рендомизированным размещением в блоках. В течение 2018–2023 гг. на образцах зерна, полученных при уборке урожая в оптимальные сроки и взятых с двух несмежных повторений, отбирали

пробы по 50,0 г. Отобранные образцы размалывали на лабораторной мельнице, ЧП определяли в водной суспензии муки на приборе «Falling Number» Хагберга – Пертена.

Полученные по ЧП цифровые данные были обработаны методом двухфакторного дисперсионного анализа с определением вкладов в дисперсию признака эффектов среды, генотипа и их взаимодействия. Адаптивность и стабильность признака у генотипов и дифференцирующую способность среды определяли по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой (1997). В качестве стандарта были использованы данные по сорту Безенчукская 139. Рассчитывались варианты генотипа, среды, их взаимодействия, параметры общей (OAC_i), специфической (CAS_i), относительной адаптивности (S_{gi}), селекционной ценности генотипа (СЦГ_i), коэффициенты нелинейности (L_{gi}), компенсации генотипа (K_{gi}), параметры дифференцирующей (DCC_k), относительной способности среды (S_{ek}), коэффициенты типичности (tt_k) и предсказуемости среды (P_k). В дополнение к этой методике рассчитывали коэффициент регрессии генотипа на среду (b_i) по S. F. Eberhart, W. A. Russel в изложении А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой (1997). Условия среды за годы изучения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метеорологические условия по периодам вегетации пшеницы твердой (по сорту-стандарту Безенчукская 139) в годы исследований (2018–2023 гг.)

Table 1. Meteorological conditions for the vegetation periods of wheat durum (according to the standard variety Bezenchukskaya 139) during the research years (2018–2023)

Год	Метео параметр	Период вегетации					
		всходы– кущение	кущение– трубкавание	трубкавание– колошение	колошение– восковая спелость	восковая спелость– уборка урожая	за вегетацию в целом
2018	Осадки, мм	13,6	3,7	0,7	47,1	2,0	67,1
	Сумма температур	348,7	142,3	350,0	603,8	333,3	1369,4
	ГТК	0,39	0,26	0,02	0,78	0,06	0,49
2019	Осадки, мм	5,5	2,8	1,5	58,5	35,6	103,9
	Сумма температур	366,7	200,0	300,0	501,0	374,7	1624,4
	ГТК	0,15	0,14	0,05	1,17	0,95	0,64
2020	Осадки, мм	19,1	30,9	8,3	0,0	7,9	66,2
	Сумма температур	406,4	386,3	169,4	502,9	232,4	1697,4
	ГТК	0,47	0,80	0,49	0,0	0,34	0,39
2021	Осадки, мм	15,3	15,4	15,4	25,1	5,9	77,1
	Сумма температур	242,9	334,8	190,1	482,7	281,0	1511,8
	ГТК	0,63	0,46	0,81	0,52	0,21	0,51
2022	Осадки, мм	42,1	45,5	18,1	48,8	18,3	142,8
	Сумма температур	447,9	395,7	192,6	420,7	234,6	1700,0
	ГТК	0,94	1,15	0,94	1,16	0,78	0,84
2023	Осадки, мм	8,9	19,1	25,8	22,7	12,8	89,3
	Сумма температур	387,0	353,7	192,5	428,3	237,0	1623,6
	ГТК	0,23	0,54	1,34	0,53	0,54	0,55

В целом они отличались достаточным разнообразием как по количеству осадков, так и по динамике их выпадения в течение вегетации в годы проведения исследований. Самый низкий уровень по ЧП по всем сортам (221,8 с) отмечен в 2019 г., когда основное количество осадков за вегетацию пшеницы твердой – 81,8 % (95,1 мм) – совпало с периодом

«колошение – созревание». Во время созревания зерна (восковая – полная спелость зерна) выпало 35,6 мм. Благоприятные условия для формирования зерна с высокими значениями ЧП имели место в 2021, 2022 и 2023 гг. – 490,7 с, 443,7 с, 427,1 с соответственно. Близкие к средним по опыту (396,4 с) значения ЧП отмечены в 2018 (377,6 с) и 2020 (403,5 с) годах.

Коэффициент вариации средних значений ЧП по годам составил 23,3 %, что соответствует значительному уровню варибельности этого параметра по шкале изменчивости количественных признаков (Кильчевский, Хотылева, 1997). Таким образом, правомерно предположение, что условия среды в годы изучения были бла-

гоприятными для оценки устойчивости сортов по ЧП и поиска провокационных фонов.

Результаты и их обсуждение. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа определены вклады в общую дисперсию генотипической, средовой изменчивости и их взаимодействия (табл. 2).

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа числа падения пшеницы твердой в зависимости от генотипа и условий среды (2018–2023 гг.)
Table 2. Results of two-way analysis of variance of the falling number of wheat durum depending on the genotype and environmental conditions (2018–2023)

Факторы дисперсионного анализа	Параметры дисперсионного анализа			
	Величина вариации		MS	Ff
	Сумма квадратов	% от общей вариации		
Общее	2514532	100,0	–	–
Сорт (G)	151123	6,01	6729	7,8*
Среда (E)	1816498	72,24	265236	417,8*
Взаимодействие GE	424030	16,86	4038	4,6*
Остаточное	123012	4,89	–	–

Примечание. * – значимо на 5 % уровне.

Эффекты генотипа, среды и их взаимодействия по критерию Фишера были значимы. Определяющим было влияние среды – 72,62 %, доля генотипа составила 6,01 %, взаимодействие генотип–среда – 16,86 % от общей дисперсии признака. Эти результаты позволяют предположить, что устойчивость к прорастанию зерна большинства изученных сортов из данного набора генотипов проявляется в определенных условиях и отличается нестабильностью. Но, тем не менее, вклад эффектов генотипа с величиной 6,01 % позволяет надеяться, что среди изученных генотипов можно идентифицировать сорта с достаточным уровнем и стабильностью ЧП в диапазоне изменчивости условий среды данного исследования.

По результатам изучения сортов в шести средах с учетом величины наименьшей существенной разницы выделены две группы контрастных по ЧП сортов. В первую включены 3 лучших генотипа с уровнем ЧП

от 422,2 до 438,2 с – 2084Д-6, Безенчукская 210, Безенчукская юбилейная. Во вторую группу с минимальными значениями ЧП и их варьированием от 345 до 384,7 с включены 5 генотипов – 1922Д-14, Безенчукская 182, Безенчукская 139, Безенчукская степная, Харьковская 46.

Лучшим генотипом является селекционная линия 2084Д-6 со средней величиной ЧП 438,2 с, что на 68,8 с больше, чем у стандарта. Эта линия в пяти средах входила в группу лучших генотипов. Сорта Безенчукская 210 и Безенчукская юбилейная превысили уровень стандарта на 53,4 и 52,8 с и входили в группу лучших в пяти и шести средах соответственно. Все сорта 3, 4, и 5-го этапов селекции (Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182, Безенчукская степная) вошли во вторую группу с минимальными значениями ЧП. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что на 6-м этапе эффективность селекции по ЧП увеличилась (табл. 3).

Таблица 3. Число падения сортов пшеницы твердой (2018–2023 гг.)
Table 3. Falling number of wheat durum varieties (2018–2023)

Сорт	Число падения по средам, секунд						
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	средняя
Харьковская 46	353	270	381	440	444	420	373
Безенчукская 139, st	358	257	404	487	346	365	356
Безенчукская 182	333	256	374	497	421	354	350
Безенчукская степная	353	225	376	542	430	370	371
Памяти Чеховича	427	227	369	553	465	435	398
Марина	398	277	421	469	428	447	406
Безенчукская 205	325	273	409	428	367	467	383
Безенчукская 209	364	187	429	464	458	472	407
Безенчукская нива	367	247	385	428	510	410	393
Безенчукская 210	438	182	418	481	501	517	428
Безенчукская золотистая	380	268	395	513	503	390	403
Безенчукская крепость	395	227	357	532	530	428	416
Золотая	376	225	390	484	404	449	396
Безенчукская юбилейная	411	241	433	519	487	442	420
Триада	405	158	424	433	439	512	414
Таганрог	391	221	433	477	437	408	399

Продолжение табл. 3

Сорт	Число падения по средам, секунд						средняя
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	
Безенчукский подарок	357	234	367	498	393	350	350
1922Д-14	350	95	378	441	443	363	332
Безенчукский вектор	390	172	410	586	428	504	427
Безенчукская параллель	391	231	515	570	432	354	405
2034Д-41	430	196	467	497	359	471	413
2084Д-6	440	250	482	500	519	438	437
НСР _{0,05}	35,9	29,3	33,2	44,2	42,5	45,1	38,4

Для более точной идентификации генотипов с высоким уровнем и стабильностью показателей ЧП первичные данные (ЧП по генотипам, вариантам и повторениям) были исследованы по методикам А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой с определением коэффициента регрессии генотипа на среду по Eberhard, W. A. Russel (А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева, 1997). Помимо характеристики сортов и ли-

ний, получены данные по дифференцирующей способности изученных сред как фонов для отбора.

Общая (ОАС_i) и специфическая (σСАС_i) адаптивность генотипов и другие параметры, характеризующие отзывчивость, стабильность и селекционную ценность генотипов, представлены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры адаптивной способности и стабильности генотипов по ЧП (2018–2023 гг.)
Table 4. Parameters of adaptive capacity and stability of genotypes by FN (2018–2023)

Генотип	V _i	σ ²	σ	I _{gi}	S _{gi}	СЦГ _i	K _{gi}	b _i
	(ОАС _i)	(G*E) _{gi}	САС _i					
Харьковская 46	-11,7	5879,4	183,8	0,26	47,8	228,7	1,02	0,94
Безенчукская 139, st	-27,0	10587,2	193,2	0,37	52,2	205,6	1,14	0,90
Безенчукская 182	-23,8	7051,7	182,5	0,21	49,0	217,7	1,01	0,88
Безенчукская степная	-13,7	6620,8	232,6	0,12	60,8	185,3	1,65	0,95
Памяти Чеховича	16,3	6184,6	262,4	0,09	63,6	189,9	2,10	1,02
Марина	10,3	3773,7	172,7	0,13	42,4	260,2	0,91	1,02
Безенчукская 205	-18,3	15459,3	159,5	0,61	42,2	242,8	0,78	0,96
Безенчукская 209	-0,7	5280,4	251,3	0,08	63,5	182,4	1,92	1,04
Безенчукская нива	-5,2	10185,3	197,9	0,26	50,6	223,2	1,19	0,99
Безенчукская 210	26,4	12404,6	302,3	0,14	71,5	166,2	2,78	1,09
Безенчукская золотистая	11,7	6685,0	219,6	0,14	53,8	221,7	1,47	1,02
Безенчукская крепость	15,1	10692,6	273,6	0,14	66,5	179,2	2,28	1,06
Золотая	-8,4	2149,3	203,1	0,05	52,3	215,7	1,26	1,00
Безенчукская юбилейная	25,8	487,7	247,8	0,01	58,7	211,8	1,87	1,05
Триада	-1,2	16028,4	277,8	0,21	70,3	159,4	2,35	1,05
Таганрог	-1,9	1147,3	207,6	0,03	52,6	218,3	1,31	1,01
Безенчукский подарок	-30,0	5560,3	190,2	0,15	51,9	205,0	1,10	0,89
1922д-14	-51,5	9435,9	295,8	0,11	85,8	93,8	2,67	0,86
Безенчукский вектор	18,6	15652,5	327,9	0,15	79,0	136,7	3,28	1,09
Безенчукская параллель	19,2	20131,9	288,4	0,24	69,4	170,7	2,53	1,03
2034д-41	6,9	14991,5	261,7	0,22	64,9	181,2	2,09	1,05
2084д-6	41,8	4599,1	259,9	0,06	59,3	217,5	2,22	1,10
Средняя	0,0	8681,3	233,8	0,17	59,5	197,9	1,74	1,0

Примечание. ОАС_i – общая адаптивная способность; σ²(G*E)_{gi} – вариация взаимодействия «генотип–среда»; σСАС_i – параметр специфической адаптивной способности; I_{gi} – коэффициент нелинейности ответа генотипа на среду; S_{gi} – параметр относительной стабильности признака; СЦГ_i – селекционная ценность генотипа; K_{gi} – коэффициент компенсации; b_i – коэффициент регрессии генотипа на среду.

Анализ этих данных показывает, что ранжирование сортов по эффектам ОАС_i соответствует их рангам по средним значениям ЧП, полученным в эксперименте. Не обнаружено тесной взаимосвязи между ОАС_i и стабильностью описываемой параметром S_{gi} – коэффициент корреляции между этими признаками составил 0,19. В то же время взаимосвязь ОАС_i и σСАС_i была значимой – на уровне 5 % (r = 0,46), что наводит на мысль о доминирующем влия-

нии на величину ОАС_i лучших сортов значений признака в отдельные годы. Коэффициент компенсации у большинства сортов превышал единицу и варьировал от 0,69 у сорта Харьковская 46 до 3,28 у Безенчукского вектора, что предполагает преобладание в данном наборе генотипов эффектов дестабилизации. Линейный характер реакции всех сортов на среду подтверждается коэффициентами нелинейности I_{gi}, которые изменялись от 0,01 до 0,61, то есть

не превышали единицу. Если судить по коэффициенту регрессии b_r , наибольшей отзывчивостью на среду отличались линия 2084Д-6, сорта Безенчукский вектор и Безенчукская 210, наименьшей – линия 1922Д-14, сорта Безенчукская 182, Безенчукский подарок и Безенчукская 139.

Таким образом, если вести отбор генотипов с максимальным значением ЧП во всей совокупности сред, то необходимо в качестве критерия отбора использовать показатель OAC_i и в данном наборе генотипов в группу лучших включить селекционную линию 2084Д-6 и сорта Безенчукская 210, Безенчукская крепость, Безенчукская юбилейная, Безенчукская параллель, Безенчукский вектор, Памяти Чеховича, Безенчукская золотистая, Марина. В то же время в группу с наибольшей стабильностью по параметру относительной стабильности (S_{gi}) из генотипов с высокими значениями OAC_i включены только три – Безенчукская золотистая, 2084Д-6 и Безенчукская юбилейная. Низкая стабильность по параметрам S_{gi} и σSAC_i среди генотипов с высокой OAC_i установлена у следующих генотипов – Памяти Чеховича, Безенчукский вектор, Безенчукская 210. Интегральный признак – $СЦГ_i$ – в данном эксперименте формировался при доминировании параметров стабильности. В связи с этим в группу лучших генотипов вошли сорта с низкой OAC_i – Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182, Безенчукская 205, Безенчукская нива. В группу лучших по $СЦГ_i$

с учетом параметров OAC_i включены следующие генотипы: Марина, 2084Д-6, Безенчукская юбилейная, Безенчукская золотистая с варьированием $СЦГ_i$ от 208,8 до 260,2 и OAC_i – от 10 до 41,8. У стандарта эти параметры составили: $OAC_i = -27,0$; $СЦГ_i = 205,6$. Коэффициент корреляции между параметрами OAC_i и b_r , составивший 0,93, наводит на мысль о том, что величина OAC_i и среднее значение ЧП по всем средам детерминируются при доминирующем влиянии отзывчивости генотипа на благоприятные для формирования высоких значений ЧП условия среды. Это связано с тем, что провокационный фон в данном эксперименте имел место только в одном случае из шести – в 2019 году. Эффекты этого фона слабо повлияли на среднюю величину ЧП и OAC_i .

Таким образом, отбор устойчивых к прорастанию сортов по параметру ЧП целесообразно вести по показателям OAC_i , σSAC_i и S_{gi} в многолетнем эксперименте, включающем провокационные фоны. По этим показателям выделены следующие генотипы – Марина, Безенчукская юбилейная, 2084Д-6, Безенчукская золотистая.

Очевидно, что эффективность отбора увеличивается при размещении экспериментальных посевов на фонах с высокой дифференцирующей способностью, типичностью и предсказуемостью отбора.

Результаты оценки дифференцирующей способности фонов представлены в таблице 5.

Таблица 5. Параметры дифференцирующей способности среды в качестве фона для отбора (2018–2023 гг.)
Table 5. Parameters of the differentiating capacity of the environment as a background for selection (2018–2023)

Среда	$u+d_k$	d_k	$\sigma^2(G^*E)_{ek}$	σDCC_k	I_{ek}	S_{ek}	K_{ek}	t_k	P_k	Фон
2018	383	-13	371	151	0,02	39	2,2	0,81	0,32	Стабилизирующий
2019	224	-173	2043	202	0,05	90	4,0	0,18	0,17	Анализирующий
2020	410	14	1123	182	0,03	44	3,3	0,53	0,23	Анализирующий
2021	493	96	1579	207	0,04	42	4,2	0,46	0,19	Анализирующий
2022	443	47	1830	234	0,03	53	5,4	0,56	0,29	Анализирующий
2023	426	30	2044	241	0,04	57	5,7	0,51	0,29	Анализирующий
средняя	376	0,0	1498	203	0,03	54	4,1	0,51	0,25	

Примечание. u – среднее значение ЧП по опыту; d_k – эффекты среды; $\sigma^2(G^*E)_{ek}$ – взаимодействие «среда–генотип»; σDCC_k – стандартное отклонение дисперсии дифференцирующей способности среды; I_{ek} – коэффициент нелинейности ответа генотипов на конкретную среду; S_{ek} – относительная дифференцирующая способность среды; K_{ek} – коэффициент компенсации среды; t_k – коэффициент типичности среды; P_k – коэффициент предсказуемости эффективности отбора.

Во всех средах изменчивость носила линейный характер ($I_{ek} < 0$), что предполагает эффективный отбор по OAC_i с учетом параметров стабильности. Коэффициент компенсации K_{ek} во всех средах больше единицы, что указывает на совпадение знаков эффектов взаимодействия и среды с преобладанием дестабилизации и хорошими перспективами для отбора. Но все же различия по дифференцирующей способности между шестью изученными средами имели место.

Максимальное значение ЧП и взаимодействия среды с генотипами наблюдалось в 2021 году. Дифференцирующая способность

среды по S_{ek} этого фона была ниже средних значений по опыту, но высокий дестабилизирующий эффект (K_{ek} больше среднего значения по опыту) позволяет отнести его к анализирующим фонам. Среда 2019 г. с минимальным средним по сортовой популяции значением ЧП выделилась по относительной дифференцирующей способности среды (S_{ek}), но абсолютные значения σDCC_k и особенно типичности (t_k) и предсказуемости (P_k) среды, значительно уступали средним по эксперименту. Тем не менее этот фон можно отнести к анализирующим. Однако необходимо учитывать, что вероятность реализации отобранных в подобной

среде генотипов по величине OAC_i в условиях среды, отличающихся от 2019 г., может быть невысокой. В то же время в средах, аналогичных 2019 г., предполагается эффективная идентификация генотипов с высокими значениями SAC_i . По комплексу признаков критериям анализирующего фона соответствовали среды 2020, 2021 и 2023 годов. Среда 2018 г., несмотря на наличие дестабилизирующего эффекта (K_{ek} больше единицы), значительно уступает всем остальным фонам по эффектам взаимодействия среды с генотипами ($\sigma^2(G \times E)_{ek}$) и дифференцирующей способности среды (DSS_{ek} , S_{ek}), что позволяет отнести ее в данном наборе сред к стабилизирующим фонам. Эффект стабилизирующего отбора на этом фоне подтверждается высокими оценками типичности ($tt_k = 0,83$) и предсказуемости ($P_k = 0,32$), что позволяет использовать параметры ЧП сортов на этом фоне для прогнозирования их реакции в системе сред.

Таким образом, условия среды экспериментального поля Самарского НИИСХ, складывающиеся в течение нескольких лет, формируют достаточно эффективную систему фонов для отбора и стабилизации признака «число падения» пшеницы твердой яровой.

Выводы. В результате изучения признака ЧП в многолетнем (2018–2023 гг.) эксперименте установлено влияние на варьирование признака эффектов генотипа с долей 6,01 %, среды – 72,24 % и взаимодействия «генотип–среда» – 16,86 %. В среднем по эксперименту эффекты OAC_i на величину ЧП сортов последнего, 6-го, этапа селекции (2084Д-6, Безенчукская 210, Безенчукский вектор, Безенчукская юбилейная, Безенчукская крепость, Безенчукская параллель, Памяти Чеховича, Безенчукская крепость, Безенчукская золотистая) варьировали от 10,3 до 41,8 единицы, что значительно пре-

вышает соответствующие эффекты стандарта Безенчукская 139 (-27,0) и сортов предыдущих этапов селекции – Харьковская 46 (-11,7), Безенчукская 182 (-23,8), Безенчукская степная (-13,7). По комплексному параметру $СЦГ_i$, характеризующему в одной цифре отзывчивость и стабильность, среди сортов с положительными эффектами OAC_i выделены следующие: Марина ($OAC_i = 10,3$, $СЦГ_i = 228,7$), 2084Д-6 ($OAC_i = 41,8$, $СЦГ_i = 208,6$), Безенчукская юбилейная ($OAC_i = 25,8$, $СЦГ_i = 211,8$), Безенчукская золотистая ($OAC_i = 11,7$, $СЦГ_i = 221,7$). Соответствующие значения стандарта составили: $OAC_i = -27,0$; $СЦГ_i = 205,6$. Перечисленные выше сорта рекомендуются использовать в качестве исходного материала в селекции по параметру «число падения».

Пять исследованных фонов по DSS_k (182–241), коэффициенту S_{ek} (42–90), коэффициенту K_{ek} (3,26–5,71) отнесены к анализирующим фонам и один к стабилизирующему, который характеризуется высокой типичностью и предсказуемостью, что позволяет прогнозировать реакцию сортов в системе сред и отбирать генотипы, выделившиеся по параметрам адаптивности и стабильности. По результатам данного эксперимента с этой точки зрения целесообразно выделить перспективные в селекции по ЧП генотипы – 2084Д-6 и Безенчукскую юбилейную. Таким образом, эффекты среды экспериментального поля Самарского НИИСХ, за ряд лет образуют систему фонов для постепенного улучшения и стабилизации числа падения в процессе селекции пшеницы твердой яровой.

Финансирование. Исследование было поддержано грантом Российского научного фонда № 23-16-00041 (<https://rscf.ru/project/23-16-00041/>).

Библиографические ссылки

1. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.
2. Чахеева, Т. В. Устойчивость к предуборочному прорастанию зерна сортов твердой пшеницы по параметру «число падения» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. Т. 52, № 4. С. 114–120. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-114-120
3. Гапонов С. Н., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Цетва И. С., Милованов И. В., Бурмистров Н. А., Жиганова Е. С., Соловова Н. С. Экологическая адаптивность сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) саратовской селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185, № 1. С. 184–190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-184-190
4. Ложкин А. Г., Димитриев В. Л., Мальчиков А. П. Влияние норм высева семян на продуктивность яровой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-83-88.
5. Beres B. L., Rahmani E., Clarke J. M., Grassini P., Pozniak C. J., Geddes C. M., Parker K. D., May W. E., Ransom J. K. A Systematic Review of Durum Wheat: Enhancing Production Systems by Exploring Genotype, Environment, and Management ($G \times E \times M$) Synergies // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11, Article number: 568657. DOI: 10.3389/fpls.2020.568657
6. Cannon A. E., Marston E. J., Kiszonas A. M., Hauvermale A. L., See1 D. R. Late-maturity α -amylase (LMA): exploring the underlying mechanisms and end-use quality effects in wheat // *Planta*. 2022. Vol. 255, № 2. DOI: 10.1007/s00425-021-03749-3
7. Perten, H. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase active // *Cereal Chem*. 1964. Vol. 41(3), P. 127–139.
8. Peery P. S., Carle S. U., Wysock M., Pumphery M. O., Steber C. M. LMA or vivipary? Wheat grain can germinate precociously during grain maturation under the cool conditions used to induce late maturity alpha-amylase (LMA) // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14, Article number: 1156784. DOI: 10.3389/fpls.2023.1156784

References

1. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. *Ekologicheskaya selektsiya rastenii* [Ecological plant breeding]. Minsk: Tekhnologiya, 1997. 372 s.
2. Chakheeva, T. V. Ustoichivost' k preduborochnomu prorastaniyu zerna sortov tverdoi pshenitsy po parametru «chislo padeniya» [Resistance to pre-harvest grain germination of durum wheat varieties according to the parameter 'a falling number'] // *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2020. T. 52, № 4. S. 114–120. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-114-120
3. Gaponov S.N., Shutareva G. I., Tsetva N. M., Tsetva I. S., Milovanov I. V., Burmistrov N. A., Zhiganova E. S., Solovova N. S. *Ekologicheskaya adaptivnost' sortov yarovoy tverдой pshenitsy (Triticum durum Desf.) saratovskoy selektsii* [Environmental adaptability of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars developed in Saratov] // *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2024. T. 185, № 1. S. 184–190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-184-190
4. Lozhkin A. G., Dimitriev V. L., Mal'chikov P.N. *Vliyaniye norm vyseva semyan na produktivnost' yarovoy tverдой pshenitsy* [Influence of seeding rates on the productivity of spring durum wheat] // *Zernovoye khozyaystvo Rossii*. 2024. T. 16, № 1. S. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-83-88
5. Beres B. L., Rahmani E., Clarke J. M., Grassini P., Pozniak C. J., Geddes C. M., Porker K. D., May W. E., Ransom J. K. A Systematic Review of Durum Wheat: Enhancing Production Systems by Exploring Genotype, Environment, and Management (G × E × M) Synergies // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11, Article number: 568657. DOI: 10.3389/fpls.2020.568657
6. Cannon A. E., Marston E. J., Kiszonas A. M., Hauvermale A. L., See1 D. R. Late-maturity α -amylase (LMA): exploring the underlying mechanisms and end-use quality effects in wheat // *Planta*. 2022. Vol. 255, № 2. DOI: 10.1007/s00425-021-03749-3
7. Perten, H. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase active // *Cereal Chem*. 1964. Vol. 41(3), P. 127–139.
8. Peery P. S., Carle S. U., Wysock M., Pumphery M. O., Steber C. M. LMA or vivipary? Wheat grain can germinate precociously during grain maturation under the cool conditions used to induce late maturity alpha-amylase (LMA) // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14, Article number: 1156784. DOI: 103389/fpls.2023.1156784

Поступила: 11.06.24; доработана после рецензирования: 29.07.24; принята к публикации: 29.07.24.

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. Мальчиков П. Н. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Шаболкина Е. Н. – проведение лабораторных опытов, сбор данных, подготовка рукописи; Мясникова М. Г. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Пронович Л. В. – проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВЫЕ СОРТА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ ЖЕСТКИХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

М. М. Иванисов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

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;

И. А. Рыбась, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, rybasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

А. В. Кирин, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818

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

Цель данной работы – оценить новые сорта озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по основным хозяйственно-биологическим признакам и свойствам. Конкурсное испытание проводили по двум предшественникам – кукуруза на зерно и подсолнечник. В качестве исходных форм при создании новых генотипов были использованы районированные в разные годы сорта зерноградской (Донской сюрприз, Ростовчанка 5, Спартак, Дон 107) и инорайонной селекции (Золушка, Сибирская нива, Ирешка). Средняя за три года (2021–2023 гг.) урожайность новых сортов по предшественнику кукуруза на зерно варьировала от 7,77 т/га (Вольный Дон) до 8,32 т/га (Флагман) с превышением относительно стандарта Дон 107 на 0,45–1,00 т/га. По подсолнечнику – от 6,64 т/га (Вольный Дон) до 6,82 т/га (Донец) с прибавкой относительно стандартного сорта от 0,45 до 0,63 т/га. Новые сорта озимой мягкой пшеницы сформировали большую урожайность относительно стандарта за счет различных слагаемых ее элементов. Максимальное влияние на продуктивность новых сортов озимой мягкой пшеницы в 2021–2023 гг. оказали: масса 1000 зерен ($r = 0,54 \pm 0,37$) и масса зерна с колоса ($r = 0,77 \pm 0,26$). Новые сорта озимой мягкой пшеницы обладают высокой морозостойкостью на уровне или выше (72,2–84,5 %) высокоморозостойкого стандарта Дон 107 (74,1 %), короткостебельностью (88,3–100 см), устойчивостью к полеганию (4,8–5,0 балла). В меньшей степени относительно стандарта Дон 107 поражаются на инфекционном фоне бурой ржавчиной и мучнистой росой. Формируют хорошее качества зерна: содержание белка – 12,75–13,78 %, содержание клейковины – 23,4–25,7 %, натура зерна – 787–812 г/л, стекловидность – 60–83 %.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, предшественник, признак, урожайность.

Для цитирования: Иванисов М. М., Марченко Д. М., Рыбась И. А., Кири А. В. Новые сорта озимой пшеницы для жестких предшественников селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. Т. 16, № 4. С. 75–80. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-75-80.



NEW WINTER WHEAT VARIETIES FOR RIGID FORECROPS DEVELOPED BY THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

M. M. Ivanisov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

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

I. A. Rybas, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, rybasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

A. V. Kirin, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818

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

The purpose of the current work was to evaluate new winter common wheat varieties developed by the FSBSI “ARC “Donskoy” according to the main economic and biological traits and properties. The competitive testing was carried out after two forecrops, such as maize for grain and sunflower. As initial forms when developing new genotypes, there were taken the varieties of Zernograd breeding (‘Donskoy syurpriz’, ‘Rostovchanka 5’, ‘Spartak’, ‘Don 107’) and of non-regional breeding (‘Zolushka’, ‘Sibirskaya niva’, ‘Irishka’) released in different years.

The mean three-year productivity of new varieties (2021–2023) when sown after maize for grain varied from 7.77 t/ha ('Volny Don') to 8.32 t/ha ('Flagman'), exceeding the standard variety 'Don 107' by 0.45–1.00 t/ha. When sown after sunflower it ranged from 6.64 t/ha ('Volny Don') to 6.82 t/ha ('Donets'), with an increase relative to the standard variety from 0.45 to 0.63 t/ha. New winter common wheat genotypes produced higher yields relative to the standard variety due to various components of its elements. Maximum impact on productivity of the new winter common wheat varieties in 2021–2023 was made by 1000-grain weight ($r = 0.54 \pm 0.37$) and grain weight per ear ($r = 0.77 \pm 0.26$). New winter common wheat varieties had the same high and even higher frost resistance (72.2–84.5 %) as the highly frost-resistant standard variety 'Don 107' (74.1 %), short stemness (88.3–100 cm), lodging resistance (4.8–5.0 points). On an infectious background they were affected by brown rust and powdery mildew to a lesser extent compared to the standard variety 'Don 107'. They formed good grain quality with protein (12.75–13.78 %), gluten (23.4–25.7 %), grain nature weight (787–812 g/l), hardness (60–83 %).

Keywords: winter common wheat, variety, forecrop, trait, productivity.

Введение. Огромные площади, на которых высевается озимая пшеница, включают различные почвенно-климатические зоны, где складываются неодинаковые условия для ее возделывания. В южных регионах по непаровым предшественникам, и в частности по поздноубираемым культурам, размещается большая масса посевов озимой пшеницы (Громова и др., 2023; Курылева, 2020).

В получении высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур большая роль принадлежит использованию лучших сортов, наиболее приспособленных к возделыванию в определенных условиях (Каменова и др., 2018).

Практическое решение ее полностью зависит от успехов селекционной работы. Селекция растений является важнейшим фактором ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве (Грабовец и Бирюков, 2021).

Внедрение в производство лучших высокоурожайных сортов имеет большое экономическое значение и является доступным и дешевым способом увеличения производства всех сельскохозяйственных культур. Сорт и условия, в которых он возделывается, неразрывно связаны между собой (Cao et al., 2019).

Цель исследований – оценка новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по хозяйственно-биологическим признакам и свойствам.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в отделе селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область) по предшественникам кукуруза на зерно и подсолнечник.

В изучении находилось 5 новых сортов озимой мягкой пшеницы: включенный в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2020 г. Вольный Дон; проходящие испытание на государственных сортоучастках РФ: Донец, Аксай, Флагман и Дончак. Стандарт – сорт озимой мягкой пшеницы Дон 107.

Конкурсное испытание высевали в шестикратной (предшественник кукуруза на зерно) и трехкратной (предшественник подсолнечник) повторности с нормой посева 500 всхожих зерен на 1 м², площадь делянки 10 м².

Морозостойкость изучаемых образцов определяли путем подсчета живых растений после промораживания посевных ящиков при температуре -19 °С с экспозицией 20 часов.

Поражение сортов бурой ржавчиной оценивали по методике Э. Э. Гешеле (1978), мучнистой росой – по методике С. И. Ригиной-Трайниной, И. Г. Одинцовой (1974).

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый мощный с высокой карбонатностью.

Погодно-климатические условия в годы исследования складывались разнообразно, 2021/2022 (среднегодовая температура воздуха составила 11,1 °С, превышение над среднегодовалными данными 1,4 °С, за сельскохозяйственный год выпало 609,2 мм осадков – 104,6 % от среднегодовой) и 2022/2023 (температура 11,6 °С, количество осадков 569 мм) с.х. годы оказались наиболее благоприятными для формирования высокого урожая зерна по поздноубираемым предшественникам. 2020/2021 с.х. год, несмотря на оптимальные условия при посеве, оказался неблагоприятным для озимой мягкой пшеницы (недостаток влаги в весенне-летний период, а также дожди в период созревания и уборки озимой пшеницы).

Результаты и их обсуждение. Задачей селекции является создание новых генотипов, превосходящих по хозяйственно полезным признакам сорта, уже распространенные в производстве. Новые сорта озимой мягкой пшеницы, представленные в данной работе, созданы методом внутривидовой гибридизации с использованием в качестве родительских форм районированных, хорошо зарекомендовавших себя в производстве сортов (табл. 1).

Таблица 1. Родословная новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»
Table 1. Parentage of new winter common wheat varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy"

Сорт	Год районирования/передачи на испытания	Родительские формы
Вольный Дон	2020	Донской сюрприз х Ростовчанка 5
Донец*	2021	Спартак х Золушка
Аксай*	2022	Золушка х Дон 107
Флагман*	2022	Донской сюрприз х Сибирская нива
Дончак*	2023	1083/02 х Иришка

Примечание. * – сорт проходит изучение.

Исходными формами для создания новых генотипов послужили сорта озимой мягкой пшеницы, как зерноградской (Донской сюрприз, Ростовчанка 5, Спартак, Дон 107), так и инорайонной селекции (Золушка, Сибирская нива, Иришка).

Основной показатель ценности сорта – его урожайность. По предшественнику кукуруза

на зерно, где велась основная селекционная работа по созданию данных сортов, в условиях 2021 г. урожайность изменялась от 7,03 до 8,07 т/га, достоверно превысили Дон 107 (6,93 т/га) два сорта – Вольный Дон (+0,55 т/га) и Флагман (+1,14 т/га) (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику кукуруза на зерно, т/га (2021–2023 гг.)
Table 2. Productivity of winter common wheat varieties according to such forecrop as maize for grain, t/ha (2021–2023)

Сорт	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	+ к стандарту
Дон 107, st	6,93	7,45	7,59	7,32	–
Вольный Дон	7,48	8,19	7,63	7,77	0,45
Донец	7,22	8,18	9,08	8,16	0,84
Аксай	7,15	8,40	7,64	7,73	0,41
Флагман	8,07	8,15	8,75	8,32	1,00
Дончак	7,03	7,98	9,16	8,06	0,74
Среднее	7,28	8,06	8,31	7,88	–
НСР ₀₅	0,37	0,37	0,39	0,39	–

В 2022 г. все представленные в таблице сорта достоверно превысили Дон 107 (НСР₀₅ ± 0,37) на 0,53–0,95 т/га. Максимальная урожайность за годы исследования была получена в условиях 2022/2023 с.-х. года – 8,31 т/га в среднем по изученным сортам. Достоверные прибавки (НСР₀₅ ± 0,39) показали три сорта: Донец (+1,49 т/га), Флагман (+1,16 т/га) и Дончак (+1,57 т/га).

Средняя за три года (2021–2023 гг.) урожайность новых сортов варьировала от 7,77 т/га (Вольный Дон) до 8,32 т/га (Флагман) с превышением относительно стандарта Дон 107 на 0,45–1,00 т/га.

Для селекции необходимо иметь характеристику форм по количественным признакам, определяющим урожай и его структуру. Урожайность – это сложное сочетание многих хозяйственно-биологических признаков и свойств растения (Самофалов и др., 2023; Ma et al., 2018; Kumar et al., 2022).

Густота продуктивного стеблестоя новых сортов находилась в пределах от 577 (Донец) до 654 шт./м² (Аксай), достоверно превысили стандарт (НСР₀₅ = ±46 шт./м²) Вольный Дон, Аксай, Флагман и Дончак (+74–95 шт./м²) (табл. 3).

Таблица 3. Элементы структуры урожайности сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику кукуруза на зерно (2021–2023 гг.)
Table 3. Yield structure elements of winter common wheat varieties according to such forecrop as maize for grain (2021–2023)

Сорт	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м ²	Продуктивная кустистость	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Дон 107, st	563	1,35	38,8	1,42	36,5
Вольный Дон	651	1,61	39,8	1,39	35,4
Донец	577	1,38	38,1	1,62	42,0
Аксай	654	1,65	39,1	1,37	36,8
Флагман	637	1,59	40,2	1,50	37,2
Дончак	628	1,59	41,6	1,55	39,0
НСР ₀₅	46	0,16	1,9	0,12	2,4

Высокие значения продуктивной кустистости отмечены у сортов Вольный Дон (1,61), Аксай (1,65), Флагман (1,59) и Дончак (1,59). Количество зерен в колосе стандарта Дон 107 в среднем составило 38,8 шт. Высокой озерненностью колоса отличался сорт Дончак (41,6 шт.). Остальные генотипы по данному показателю находились на уровне со стандартным сортом (НСР₀₅ = ±1,9 шт.).

Одним из основных элементов продуктивности является масса зерна с колоса. В наших исследованиях значения данного показателя

варьировали от 1,37 до 1,62 г, Дон 107 сформировал в среднем 1,42 г. Высокие значения по массе зерна с колоса отмечены у двух сортов: Донец (1,62 г) и Дончак (1,55 г).

Новые сорта озимой мягкой пшеницы сформировали большую урожайность относительно стандарта Дон 107 за счет различных слагаемых ее элементов: Вольный Дон и Аксай превысили стандартный сорт по густоте продуктивного стеблестоя и продуктивной кустистости, Донец сформировал большую массу зерна с колоса и 1000 зерен, сорт Флагман

по трем по показателям (густота продуктивного стеблестоя, продуктивная кустистость и масса зерна с колоса) достоверно превзошел Дон 107.

Необходимо отметить новый сорт озимой мягкой пшеницы Дончак, переданный на Государственное сортоиспытание в 2023 г., который по всем изученным структурным элементам достоверно превысил стандарт-

ный сорт: густота продуктивного стеблестоя (+75 шт./м²), продуктивная кустистость (+0,24), количество зерен в колосе (+2,8 шт.), масса зерна с колоса (+0,13 г), масса 1000 зерен (+2,5 г).

По результатам корреляционного анализа урожайности с элементами ее структуры были выявлены положительные взаимосвязи со всеми составляющими продуктивности (рис. 1).

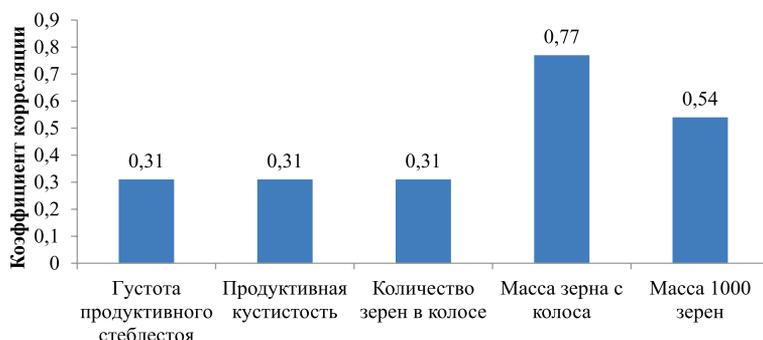


Рис. 1. Корреляционные взаимосвязи урожайности и элементов ее структуры по предшественнику кукуруза на зерно (2021–2023 гг.)

Fig. 1. Correlation between productivity and yield structure elements according to such forecrop as maize for grain (2021–2023)

Максимальное влияние на урожайность новых сортов озимой мягкой пшеницы в 2021–2023 гг. оказали масса 1000 зерен ($r = 0,54 \pm 0,37$) и масса зерна с колоса ($r = 0,77 \pm 0,26$).

Высокую урожайность новые сорта озимой мягкой пшеницы, сформировали и по пред-

шественнику подсолнечник. Урожайность по годам варьировала от 5,76 т/га (Дончак) до 7,46 т/га (Аксай), стандарта Дон 107 – от 5,54 до 6,80 т/га (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник, т/га (2021–2023 гг.)
Table 4. Productivity of winter common wheat varieties according to such forecrop as sunflower, t/ha (2021–2023)

Сорт	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	+ к стандарту
Дон 107, st	5,54	6,80	6,23	6,19	–
Вольный Дон	6,20	6,90	6,82	6,64	0,45
Донец	6,13	7,19	7,15	6,82	0,63
Аксай	5,81	7,46	6,76	6,68	0,49
Флагман	6,19	6,88	6,90	6,66	0,47
Дончак	5,76	7,14	7,06	6,65	0,46
Среднее	5,94	7,06	6,82	6,61	–
НСР ₀₅	0,49	0,44	0,48	0,44	–

Средняя за три года (2021–2023 гг.) урожайность изменялась от 6,64 т/га (Вольный Дон) до 6,82 т/га (Донец) с прибавкой относительно стандарта от 0,45 до 0,63 т/га. Средняя по опыту урожайность составила 6,61 т/га, у стандартного сорта Дон 107 – 6,19 т/га.

Современное сельскохозяйственное производство предъявляет к сорту высокие требования: комплексная устойчивость к неблагоприятным условиям произрастания, болезням, приспособленность к механизированному возделыванию (Гагкаева и др., 2018). По группе спелости новые сорта озимой мягкой пшеницы относятся к раннеспелой (Вольный Дон, Донец, Дончак), которые выколашиваются в среднем 22–23 мая, и среднеспелой (Аксай, Флагман) –

24 мая. Стандартный среднеранний сорт Дон 107 колосился 21 мая (табл. 5).

Новые сорта озимой мягкой пшеницы обладают высокой морозостойкостью на уровне или выше (72,2–84,5 %) высокоморозостойкого стандарта Дон 107 (74,1 %), короткостебельные (88,3–100 см), высокоустойчивые к полеганию (4,8–5,0 балла). В меньшей степени относительно стандарта Дон 107 поражаются на инфекционном фоне бурой ржавчиной и мучнистой росой.

Создание сортов, дающих продукцию высокого качества, – одна из важнейших задач селекции (Иванисова и др., 2022; Кравченко и др., 2020). Содержание белка в зерне новых сортов по предшественнику кукуруза на зерно на-

ходилось на уровне 12,75–13,78 %, клейковины – 23,4–25,7 %, что, согласно ГОСТ 9353-2016, соответствует 3-му классу качества. Стандарт

Дон 107 сформировал в среднем за три года (2021–2023 гг.) 12,94 % белка и 23,2 % клейковины (рис. 2).

Таблица 5. Хозяйственно-биологическая характеристика сортов озимой мягкой пшеницы (2021–2023 гг.)
Table 5. Economic and biological characteristics of winter common wheat varieties (2021–2023)

Сорт	Дата колошения, май	Морозостойкость, %	Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, балл	Поражение болезнями (инфекционный фон)	
					Бурая ржавчина, %	Мучнистая роса, балл
Дон 107, st	21	74,1	91,5	4,5	80–100	3
Вольный Дон	22	84,0	96,2	5,0	0–5	1,0
Донец	23	73,5	92,3	5,0	20–30	2,0
Аксай	24	84,5	88,3	5,0	50–60	2,0
Флагман	24	74,6	91,7	5,0	0–5	1,0
Дончак	23	72,2	100,0	4,8	5–10	2,0

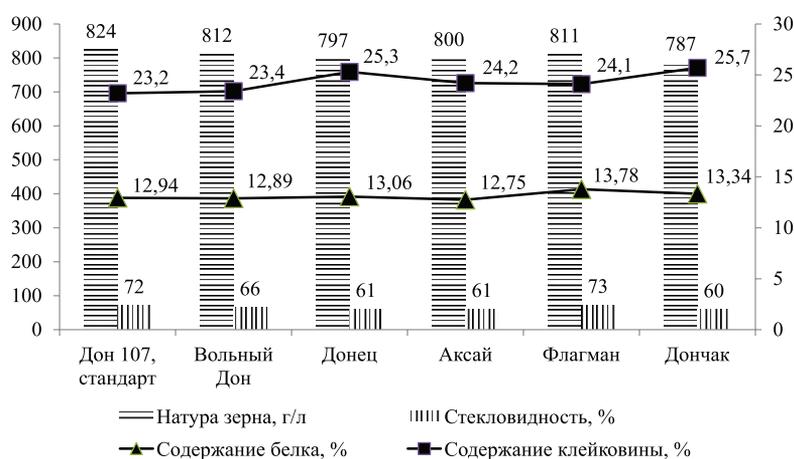


Рис. 2. Качество сортов озимой мягкой пшеницы, предшественник кукуруза на зерно (2021–2023 гг.)
Fig. 2. Quality of winter common wheat varieties when sown after maize for grain (2021–2023)

Натурный вес зерна новых сортов изменялся от 787 г/л (Дончак) до 812 г/л (Вольный Дон), стекловидность – от 60 % (Дончак) до 73 % (Флагман), что по этим показателям соответствует 1-му классу качества.

Выводы. По результатам селекционной работы лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа ФГБНУ «АНЦ «Донской» были созданы новые сорта: Вольный Дон, Донец, Аксай, Флагман и Дончак, пригодные для возделывания по жестким предшественникам – кукуруза на зерно и подсолнечник. Данные сорта

формируют высокие прибавки урожайности относительно стандартного сорта Дон 107: по кукурузе на зерно (+0,45–1,00 т/га), по подсолнечнику (+0,45–0,63 т/га). Новые сорта обладают комплексом хозяйственно-биологических признаков: высокая морозостойкость, устойчивость к полеганию и болезням, хорошее качество зерна. Использование в производстве новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» позволит увеличить валовые сборы зерна для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации.

Библиографические ссылки

1. Гагкаева Т. Ю., Орина А. С., Гаврилова О. П., Аблова И. Б., Беспалова Л. А. Характеристика сортов озимой пшеницы по устойчивости к фузариозу зерна // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(6). С. 685–692. DOI: 10.18699/VJ18.411
2. Грабовец А. И., Бирюков К. Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021. № 5. С. 41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45
3. Громова С. Н., Скрипка О. В., Подгорный С. В., Самофалов А. П., Чернова В. Л. Экологическое испытание сортов и линий озимой мягкой пшеницы в условиях южной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-17-22
4. Иванисова А. С., Марченко Д. М., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Олдырева И. М. Источники высокого качества зерна озимой твердой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 72–82.
5. Каменева А. С., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Дубинина О. А., Костыленко О. А., Хронюк В. Б. Изучение сортов и линий озимой твердой пшеницы в конкурсном сортоиспытании // Зерновое хозяйство России. 2018. № 1. С. 24–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-55-1-24-28

6. Кравченко Н. С., Некрасова О. А., Игнатьева Н. Г., Олдырева И. М., Алты-Садых Ю. Н. Качество зерна сортов и линий озимой мягкой пшеницы в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6 (72). С. 101–107. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-101-107

7. Курылева, А. В. Оценка урожайности и адаптивных свойств сортов озимой пшеницы в условиях Удмуртской Республики // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(5). С. 503–511. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.503-511

8. Самофалов А. П., Подгорный С. В., Скрипка О. В., Громова С. Н., Чернова В. Л. Изменение урожайности и составляющих ее элементов структуры мягкой озимой пшеницы в зависимости от условий влагообеспеченности и генотипа // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91

9. Cao H., Li Y., Chen G., Chen D., Qu H., Ma W. Identifying the limiting factors driving the winter wheat yield gap on smallholder farms by agronomic diagnosis in North China Plain // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18(8), P. 1701–1713. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62574-8

10. Kumar M., Yadav R., Gaikwad K.B. Deciphering the environmental impact on spike architectural traits for grain yield consolidation in bread wheat (*T. aestivum* L.) // Saudi Journal of Biological Sciences. 2022. Vol. 29, P. 2800–2810. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.007

11. Ma S. C., Wang T. C., Guan X. K., Zhang X. Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of winter wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot // Field Crops Research. 2018. Vol. 221, P. 166–174. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.02.028

References

1. Gagkaeva T. Yu., Orina A. S., Gavrilova O. P., Ablova I. B., Bepalova L. A. Kharakteristika sortov ozimoi pshenitsy po ustoichivosti k fuzariozu zerna [Characteristics of winter wheat varieties for resistance to grain fusarium wilt] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. № 22(6). С. 685–692. DOI: 10.18699/VJ18.411

2. Grabovets A. I., Biryukov K. N. Rol' sorta v stabilizatsii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimaticheskikh faktorov [The role of a variety in stabilizing grain production in a wide range of agroclimatic factors] // Zemledelie. 2021. № 5. С. 41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45

3. Gromova S. N., Skripka O. V., Podgornyi S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L. Ekologicheskoe ispytanie sortov i linii ozimoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh yuzhnoi zony Rostovskoi oblasti [Environmental testing of winter common wheat varieties and lines in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. Т. 15, № 1. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-17-22

4. Ivanisova A. S., Marchenko D. M., Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Oldyreva I. M. Istochniki vysokogo kachestva zerna ozimoi tverdoi pshenitsy [Sources of high-quality grain of winter durum wheat. The study of winter durum wheat varieties and lines in the Competitive Variety Testing] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2022. № 4 (32). С. 72–82.

5. Kameneva A. S., Samofalova N. E., Ilichkina N. P., Dubinina O. A., Kostylenko O. A., Khronyuk V. B. Izuchenie sortov i linii ozimoi tverdoi pshenitsy v konkursnom sortoispytanii [Study of varieties and lines of winter hard wheat in competitive variety testing] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 1. С. 24–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-55-1-24-28

6. Kravchenko N. S., Nekrasova O. A., Ignat'eva N. G., Oldyreva I. M., Alty-Sadykh Yu. N. Kachestvo zerna sortov i linii ozimoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Grain quality of winter common wheat varieties and lines in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 6 (72). С. 101–107. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-101-107

7. Kuryleva, A. V. Otsenka urozhainosti i adaptivnykh svoystv sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Udmurtskoi Respubliki [Estimation of productivity and adaptive properties of winter wheat varieties in the Republic of Udmurtia] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. № 21(5). С. 503–511. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.503-511

8. Samofalov A. P., Podgornyi S. V., Skripka O. V., Gromova S. N., Chernova V. L. Izmenenie urozhainosti i sostavlyayushchikh ee elementov struktury myagkoi ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot uslovii vlagoobespechennosti i genotipa [Changes in productivity and its constituent structure elements of winter common wheat depending on moisture conditions and a genotype] // Agrarnaya nauka. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91

9. Cao H., Li Y., Chen G., Chen D., Qu H., Ma W. Identifying the limiting factors driving the winter wheat yield gap on smallholder farms by agronomic diagnosis in North China Plain // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18(8), P. 1701–1713. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62574-8

10. Kumar M., Yadav R., Gaikwad K.B. Deciphering the environmental impact on spike architectural traits for grain yield consolidation in bread wheat (*T. aestivum* L.) // Saudi Journal of Biological Sciences. 2022. Vol. 29, P. 2800–2810. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.007

11. Ma S. C., Wang T. C., Guan X. K., Zhang X. Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of winter wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot // Field Crops Research. 2018. Vol. 221, P. 166–174. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.02.028

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. Иванисов М. М. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Марченко Д. М. – общее научное руководство, концептуализация исследований, критический анализ текста; Рыбась И. А., Киринов А. В. – выполнение полевых опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ ТРИТИКАЛЕ НА ЗЕЛЕНЬ КОРМ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Крохмаль, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, krochmal_58@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3104-3308;

Е. А. Гординская, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, ORCID ID: 0000-0002-3839-7299;

Н. И. Барулина, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, ORCID ID: 0000-0002-6946-8838

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1;
e-mail: dzni@mail.ru

Задача селекционной программы – создать сорт, обладающий высоким потенциалом продуктивности, способный реализовать этот потенциал в широком спектре условий среды. Цель работы – установить особенности формирования урожая зеленого корма, оценить адаптивность сортов и отдельных ее параметров в условиях степной зоны Ростовской области. Климат зоны засушливый, с неравномерностью выпадения осадков и частыми сушевыми. Почвенный покров представлен черноземами южными среднетяжелыми глинистыми. Объект исследований – 6 озимых сортов тритикале кормового направления собственной селекции. Сорта высеивали по двум предшественникам: по чистому пару для выявления потенциальных возможностей продуктивности и по просу для определения возможностей сорта в условиях, приближенных к производственным. Было установлено, что наибольшая доля влияния на изменчивость урожайности принадлежит условиям среды, 89,0 %, и лишь 4,6 % – влияние сорта. Наибольшую урожайность в среднем за годы исследований по пару сформировал сорт Стюард (90,1; максимальная – 104,5 т/га), по предшественнику просо – Бемоль 20 (51,6; максимальная – 67,1 т/га). Урожай зеленой массы тесно связан с количеством стеблей на 1 м² ($r = 0,81$). Было определено, что на период учета зеленой массы стеблестой на 1 м² колебался от 801 шт. (Торнадо) до 954 шт. (Бемоль 20). Редукция стеблей к этому периоду у сортов Торнадо, Стюард, Ариозо и Бемоль 20 составила 13–16 %, у сорта Арго – 26 %, Аграф – 4%. Варьирование продуктивности по пару колебалось от 9,9 % (Ариозо) до 19,5 % (Бемоль 20), по предшественнику просо – вдвое выше, от 19,3% (Бемоль 20) до 30,3 % (Стюард). Анализ параметров адаптивности изученных сортов позволил разносторонне оценить адаптивные свойства сортов. Так, сорт Аграф имел ранг 1 по стабильности (S^2), Стюард – по максимальному урожаю и генетической гибкости (ГГ), Бемоль 20 – по средней продуктивности во всей совокупности сред, коэффициенту адаптации (КА). По сумме рангов основных количественных и качественных показателей адаптивности лидировал сорт Арго (сумма рангов 20) – с рангом 1 по стрессоустойчивости (СУ), гомеостатичности (Ном), селекционной ценности генотипа (Sc и СЦГ_i).

Ключевые слова: тритикале, сорт, зеленый корм, продуктивность, адаптивность, пластичность, стабильность

Для цитирования: Крохмаль А. В., Гординская Е. А., Барулина Н. И. Урожайность и параметры адаптивности тритикале на зеленый корм в условиях степной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 81–89. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-81-89.



PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY PARAMETERS OF TRITICALE FOR GREEN FEED IN THE STEPPE PART OF THE ROSTOV REGION

A. V. Krokhmal', Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of breeding and seed production of wheat and triticale, krochmal_58@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3104-3308;

E. A. Gordinskaya, senior researcher of the laboratory of triticale breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3839-7299;

N. I. Barulina, junior researcher of the laboratory of triticale breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6946-8838

FSBI "Federal Rostov Agrarian Research Center",
346735, Rostov region, Aksai district, village Rassvet, st. Institutskaya, 1; e-mail: dzni@mail.ru

The goal of the breeding program is to develop a variety with high productivity potential, capable of realizing this potential in a wide range of environmental conditions. The purpose of the work was to establish the features of the formation of the green forage crop, to estimate the adaptability of varieties and its individual parameters in the conditions of the steppe part of the Rostov region. The climate of the territory was arid, with uneven precipitation and frequent dry winds. The soil cover is represented by southern medium-deep clayey blackearth. The objects of the study were 6 winter varieties of feed triticale of the own breeding. The varieties were sown according to two forecrops, such as weedfree fallow to identify potential productivity opportunities, and millet to determine the capabilities of the variety in conditions close to production. There was found that the largest share of the effect on productivity range was of envi-

ronmental conditions, 89.0 %, and only 4.6 % of the effect of the variety. The largest mean productivity over the years of study was formed by the variety 'Styuard' (90.1; maximum 104.5 t/ha) when laid in fallow, and the variety 'Bemol 20' (51.6; maximum 67.1 t/ha) when sown after millet. Green mass productivity is closely related to a number of stems per 1 m² ($r = 0.81$). There was determined that during the studying period of green mass, stem stand per 1 m² ranged from 801 ('Tornado') to 954 pieces ('Bemol 20'). By this period stem reduction of the varieties 'Tornado', 'Styuard', 'Ariozo' and 'Bemol 20' was 13–16 %, that of the varieties 'Argo' and 'Agraf' 26 % and 4 % respectively. The productivity range of the varieties when sown in fallow varied from 9.9 % ('Ariozo') to 19.5 % ('Bemol 20'), it was twice as high when sown after millet, from 19.3 ('Bemol 20') to 30.3 % ('Styuard'). Analysis of the adaptability parameters of the studied varieties allowed a comprehensive estimation of the adaptive properties of the varieties. Thus, the variety 'Agraf' had rank 1 in terms of stability (S^2), 'Styuard' in terms of maximum productivity and genetic flexibility (GF), 'Bemol 20' in terms of average productivity in the entire set of environments, adaptation coefficient (AC). According to the sum of ranks of the main quantitative and qualitative indicators of adaptability, the variety 'Argo' was the best one (sum of ranks 20), with rank 1 for stress resistance (SR), homeostaticity (Hom), and breeding value of the genotype (S_c and GBV).

Keywords: *triticale, variety, green feed, productivity, adaptability, plasticity, stability*

Введение. Тритикале – культура с очень широким спектром сфер применения. Зерновые тритикале могут быть использованы для получения фуражного зерна, в хлебопечении, кондитерском производстве, для получения крахмала, биоэтанола, крупы (Мелешкина и Бундина, 2018; Пономарев и др., 2018). Кормовые тритикале можно использовать для кормления животных в свежем виде, приготовления травяной муки, гранул, сенажа и т.п. (Горянина, 2019; Ковтуненко и др., 2019).

В последние годы наблюдается тенденция повышения внимания агропроизводителей к кормовым сортам тритикале, увеличился спрос на семена кормовых сортов. Это связано с расширением животноводства, наметившимся в нашей стране в связи с санкциями и необходимостью создания продовольственной безопасности государства. Тритикале – культура, которая не поражается большинством фитопатогенов, посевы ее не нуждаются в пестицидном прикрытии. Это дает возможность получать экологически чистый продукт – как зерно, так и зеленый корм, что немаловажно для кормопроизводства.

Важную роль в расширении ареалов распространения сортов тритикале и увеличении посевных площадей играет уровень адаптивных свойств сортов, способности их реализовывать высокий потенциал продуктивности в широком спектре основных стрессовых факторов среды (Крохмаль и др., 2020). Проблема адаптивности сортов кормового направления пока слабо исследована. Поэтому изучение адаптивных свойств создаваемых сортов является важной составляющей селекционной программы по кормовым тритикале. Основная цель данной работы – установить особенности формирования продуктивности кормовых тритикале и параметры адаптивности сортов тритикале, созданных в ФГБНУ ФРАНЦ, предназначенных на зеленый корм.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФРАНЦ) в условиях северо-западной степной

зоны Ростовской области в 2018–2022 годах. Климат засушливый континентальный. Осадки распределены неравномерно по фазам вегетации, преобладающее количество осадков выпадает в осенне-зимний период. Зима обычно мягкая, с частыми возобновлениями вегетации в январе–феврале.

Объект исследований – сорта тритикале кормового назначения собственной селекции Аграф, Торнадо, Арго, Стюард, Ариозо и Бемоль 20. Государственный стандарт для кормовых тритикале в 2018–2020 гг. – сорт Аграф, в 2021–2022 гг. – сорт Арго. Питомники закладывали по двум предшественникам: по чистому пару для выявления потенциальных возможностей продуктивности и по просу для определения возможностей сорта в условиях, приближенных к производственным. Сроки посева – оптимальные для зоны (середина сентября). Площадь делянки 21 м², повторность трехкратная, расположение делянок систематическое. Норма высева по пару 1,5 млн, по беспарью – 4 млн семян на 1 га. Для оценки редукции стеблей в течение вегетации определяли густоту стеблестоя на 1 м² в фазе начала роста соломины и фазе начала колошения. Зеленую массу учитывали в фазу технологической спелости, в начале колошения. В период вегетации вели фенологические наблюдения, оценивали устойчивость сортообразцов к фитопатогенам по общепринятым методикам. Экспериментальные данные обрабатывали, используя пакет статистического анализа ANOVA, а также пакет анализа данных Excel 2010. Параметры экологической пластичности рассчитывали по методу Эберхарта и Рассела в изложении В. З. Пакудина и Л. М. Лопатиной (1984), гомеостатичность – по В. В. Хангильдину и Н. А. Литвиненко (1981), параметры адаптивной способности и стабильности – по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой (1985).

Условия увлажнения в годы проведения исследований значительно различались, сумма активных температур различалась мало (табл. 1).

Таблица 1. Гидротермические показатели, данные метеопоста «Донское поле» (2018–2022 гг.)
Table 1. Hydrothermal indicators, data from the weather station 'Donskoe Pole' (2018–2022)

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	Средне-многолетнее
Σ активных температур, °С	4279	4202	4220	4165	4168	–
Σ осадков, мм	496,1	544,0	273,2	334,2	374,6	451
Σ осадков осенней вегетации, мм	83,5	76,5	47,9	36,0	65,9	58
Σ осадков весенне-летней вегетации, мм*	36,3	185,8	71,8	90,4	92,6	86
ГТК, год	1,16	1,29	0,65	0,80	0,90	–
ГТК осенней вегетации	1,02	0,81	0,56	0,36	0,89	–
ГТК весенне-летней вегетации*	0,35	1,79	0,72	1,15	1,02	–

Примечание. * – до наступления укосной спелости.

Сумма осадков за год различалась очень значительно. Средне многолетняя годовая сумма осадков составляет 451 мм, за весенне-летний период, до наступления укосной спелости тритикале – 86 мм. 2020, 2021 и 2022 гг. в целом характеризовались дефицитом влаги. Осенняя вегетация 2018, 2019, 2022 гг. протекала в условиях достаточного увлажнения. Осенью 2020 г. наблюдали дефицит влаги, а в 2021 г. – острую засуху, выпало всего 36 мм осадков (при среднемноголетней сумме 58 мм), которые выпали 30–31 октября, за несколько дней до прекращения осенней вегетации. Расчеты гидротермического коэффициента (ГТК) показали, что период

осенней вегетации 2018 г. можно охарактеризовать как слабозасушливый (ГТК 1,0–1,3), 2019, 2022 г. – засушливый (ГТК 0,7–1,0), 2021 г. – сухой (ГТК < 0,4). Период весенне-летней вегетации: 2018 г. – сухой, 2020 г. – засушливый, 2021, 2022 гг. – слабозасушливые, 2019 г. – влажный (ГТК > 1,3).

Результаты и их обсуждение. Сортимент озимых тритикале на зеленый корм в Госреестре невелик. Из 105 озимых сортов тритикале в Госреестре 2023 года всего 10 кормового назначения. На 2024 г. рекомендованы к допуску еще два кормовых сорта (табл. 2) (URL: <https://gossortrf.ru>).

Таблица 2. Сорта тритикале на зеленый корм, Госреестр 2024 года
Table 2. Triticale varieties for green feed, State List of 2024

Сорт	Год внесения в Госреестр	Регион допуска в производство
ФГБНУ ФРАНЦ		
Аллегро	1995	5, 6
Аграф	2004	6, 7, 8
Торнадо	2007	2, 4, 5, 6, 7, 11
Арго	2018	3, 4, 5, 6, 8
Ариозо	2023	3, 4, 5, 6, 7, 8
Стюард	2024*	3, 4, 6, 7
Бемоль 20	2024*	5
Другие НИИ		
Ставропольский 5	1995	6
Квазар	2008	6
Ижевская 2	2011	4
Бобби	2017	2
Слон	2022	3, 4, 5, 6, 7, 8

Примечание. * – рекомендованы экспертной комиссией для включения в Госреестр на 2024 год.

Высокая продуктивность сорта – основная цель селекции любой культуры. Урожай зеленой массы – интегрированный признак, который обуславливается многими факторами. Его величина зависит от потенциальных возможностей сорта и условий среды. Влияют на урожайность предшественник, гидротермические условия года, уровень увлажнения в период формирования урожая, продолжительность периода от выхода в трубку до технологической спелости.

Высота соломины является значимым компонентом урожая зеленого корма. Кормовые

сорта тритикале высокорослые, высота соломины при достаточном увлажнении достигает 200 см и более. В засуху, как, например, в 2018 г., высота растений была на 30–60 см короче, чем в благоприятные годы. Высота растений зависит также от предшественника. По пару сорта формируют более высокую соломину, чем по непаровому предшественнику (рис. 1). Наиболее высокорослым среди изученных сортов был сорт Стюард – 189 см в среднем по пару и 173 см по предшественнику просо.

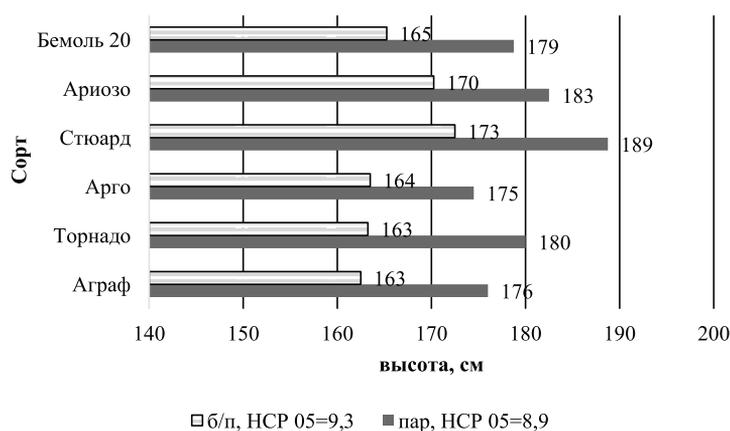


Рис. 1. Высота растений сортов тритикале по пару и непаровому предшественнику (2018–2022 гг.)
Fig. 1. Plant height of triticale varieties when sown in fallow and after a non-fallow forecrop (2018–2022)

Наряду с высотой растений большое влияние на уровень урожайности оказывает способность сорта интенсивно куститься. Коэффициент корреляции урожая зеленого корма с количеством стеблей на 1 м² $r = 0,81$.

Во время учета урожая было определено количество стеблей с 1 м². Наибольшее количество стеблей по пару формировал сорт Бемоль 20 (в среднем 980 стеблей), по беспарью – сорт Стюард (655 шт.) (рис. 2).

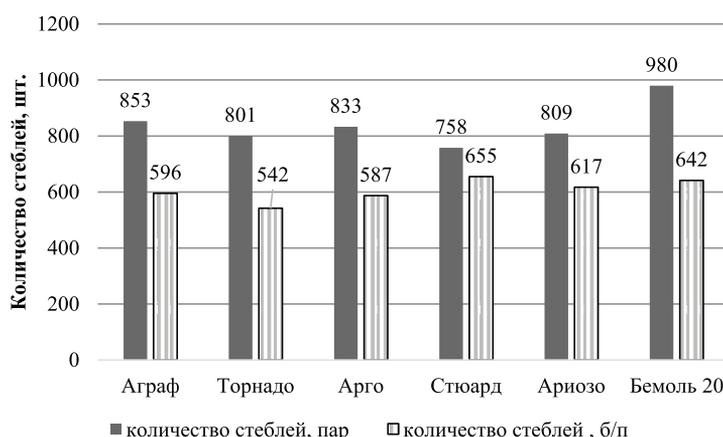


Рис. 2. Количество стеблей на 1 м² по пару и непаровому предшественнику (2018–2022 гг.)
Fig. 2. Number of stems per 1 m² when sown in fallow and after a non-fallow forecrop (2018–2022)

Кормовые сорта тритикале, как правило, сильно кустятся. В течение вегетации (к моменту учета урожая) часть стеблей отмирает. Как видно из таблицы 3, редукция стеблей сортов Торнадо, Стюард, Ариозо и Бемоль 20 была

одного порядка – 13–16 %. Сорта же Аграф и Арго значительно отличались. Редукция стеблей первого сорта была всего 4 %, второго – наибольшей, 26 % (табл. 3).

Таблица 3. Редукция стеблей кормовых сортов тритикале, пар (2020–2022 гг.)
Table 3. Reduction of stems of feed triticale varieties, laid in fallow (2020–2022)

Сорт	Количество стеблей на 1 м ² , шт.		Редукция стеблей, %	Доля листьев, %, фаза укосной спелости	
	фаза начала роста соломины	фаза укосной спелости		пар	беспарье
Аграф	888	853	4	21,4	19,8
Торнадо	938	801	15	21,3	20,4
Арго	1128	833	26	22,5	19,6
Стюард	960	823	14	20,7	18,9
Ариозо	966	811	16	22,3	20,3
Бемоль 20	1092	954	13	20,0	20,2

Качество получаемого корма генетически детерминировано, а доля листьев в зеленом

корме варьирует от 18 до 24 % в зависимости от года и сорта. По пару доля листьев обыч-

но на 2–3 % выше, чем по беспарью (табл. 3). Поскольку количество листьев на растении постоянное и одинаковое у всех сортов тритикале (7–8 листьев), различия в облиственности между сортами обуславливаются длиной и шириной листьев. Эти показатели у сортов разные. У сортов Арго и Бемоль 20 лист длинный, 32–34 и 29–31 см, у сортов Торнадо и Ариозо короче – 23 и 23–27 см соответственно. Ширина листа сорта Ариозо 2,5 см, Торнадо – 1,8 см, Аграф – 1,4 см.

При помощи дисперсионного анализа полученных экспериментальных данных определи-

ли долю влияния на продуктивность сорта, среды и взаимодействия «генотип–среда». Доля влияния среды составила 89,0% ($F_{\text{факт.}} = 100,9$; $F_{\text{кр.}} = 2,28$), сорта – 4,6% ($F_{\text{факт.}} = 2,51$; $F_{\text{кр.}} = 2,48$), взаимодействие генотип–среда – 6,4%.

Урожай зеленой массы изученных сортов за период исследований различался. В среднем за 2018–2022 гг. наибольший урожай по пару сформировал сорт Стюард (90,1 т/га), по непаровому предшественнику – Бемоль 20 (51,6 т/га) (рис. 3).

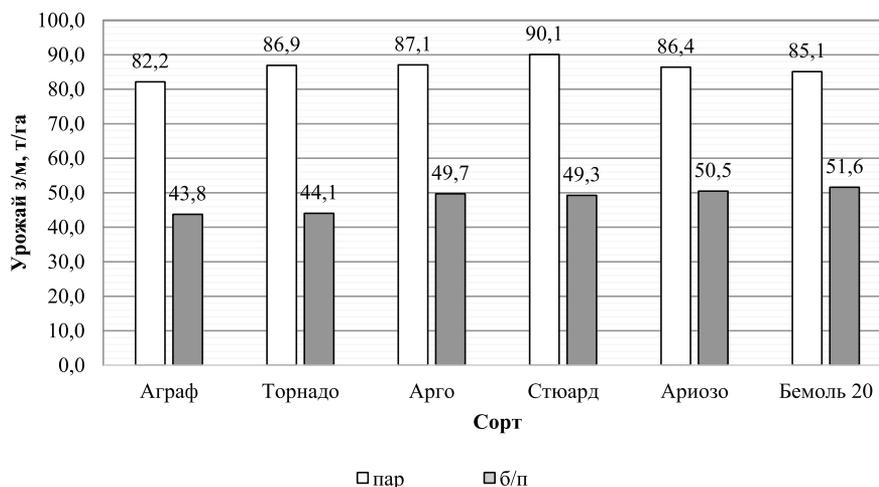


Рис. 3. Урожай зеленой массы по пару и непаровому предшественнику (2018–2022 гг.)

Fig. 3. Green mass productivity based when sown in fallow and after a non-fallow forecrop (2018–2022)

Следует отметить, что наиболее благоприятные условия для роста и развития кормовых тритикале сложились в 2020 г., когда все сорта сформировали наиболее высокий урожай зеленого корма как по пару, так и по непаровому предшественнику (в среднем 94,9 и 62,5 т/га). Максимальный урожай зеленой массы по пару дал сорт Стюард – 104,5 т/га, по просу – сорт Бемоль 20 – 67,2 т/га.

Создавая сорта тритикале с высоким потенциалом продуктивности, нужно учитывать, что стабильный урожай зеленого корма смогут обеспечить сорта, устойчивые к основным стрессовым факторам среды, с высокими

адаптивными свойствами. Поэтому изучение адаптивности сортов представляется нам мало важным.

Коэффициент вариации продуктивности сорта – наиболее доступный показатель адаптивных свойств сорта, он показывает, насколько сорт реагирует на изменение условий среды. Для определения изменчивости уровня продуктивности сорта в зависимости от условий года и предшественника мы рассчитали коэффициент вариации ($V, \%$) урожая по всем годам и двум предшественникам (табл. 4). Изменчивость признака всех сортов была значительной.

Таблица 4. Продуктивность и ее вариабельность кормовых тритикале по разным предшественникам (2018–2022 гг.)

Table 4. Productivity and its variability of feed triticale according to different forecrops (2018–2022)

Сорт	Пар				Беспарье (просо)				Пар/б/п, $V, \%$	
	Урожай зеленого корма, т/га			$V, \%$	Урожай зеленого корма, т/га			$V, \%$		
	min	max	среднее		min	max	среднее			
Аграф	72,6	90,3	81,3	12,2	26,5	56,4	43,8	29,2	36,5	
Торнадо	78,6	98,3	86,9	14,8	27,5	60,0	44,1	28,7	38,6	
Арго	75,7	96,3	87,1	14,2	36,5	64,0	49,7	19,7	31,3	
Стюард	75,0	104,5	90,1	18,8	32,0	63,3	49,3	30,7	35,3	
Ариозо	76,6	94,8	86,4	9,9	29,5	64,0	50,5	28,9	32,6	
Бемоль 20	86,0	98,7	85,1	19,5	30,6	67,1	51,6	19,3	34,1	
	НСР ₀₅ = 7,2					НСР ₀₅ = 4,9				

Примечание. $V, \%$ – коэффициент вариации.

Однако расчет этого показателя по каждому предшественнику в отдельности дал другие результаты. Коэффициент вариации урожайности у сортов Аграф, Торнадо и Стюард по пару был в 2, а у сорта Ариозо в 3 раза ниже (9,9 и 28,9 %), чем по предшественнику просо. Исключение составил сорт Бемоль 20, варьирование его продуктивности по пару и беспарью было одинаковым (19,5 и 19,3 %).

Многие исследователи для оценки адаптивных свойств используют показатели стрессоустойчивости (CC , $Y_{\min} - Y_{\max}$), генети-

ческой гибкости ($ГГ$, $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) и коэффициента адаптивности ($КА$, $(Y_{\text{среднее сорта}} \times 100 : Y_{\text{среднее по опыту}} : 100)$) (Богдан и др., 2023; Засыпкина и Донцова, 2024; Рыбась и др., 2023). Чем меньше разница между минимальной и максимальной урожайностью сорта, тем выше его устойчивость к стрессам. К относительно стрессоустойчивым можно отнести сорт Арго (табл. 5). У этого же сорта отмечали наибольшую урожайность в лимитированных условиях и наименьшую вариабельность продуктивности.

Таблица 5. Продуктивность и адаптивность сортов кормовых тритикале (2018–2022 гг.)
Table 5. Productivity and adaptability of feed triticale varieties (2018–2022)

Сорт	Урожай зеленого корма, т/га			СУ	ГГ	КА	b_i	Hom	Sc	S ²
	min	max	среднее							
Аграф	26,5	90,3	63,0	-63,8	58,4	0,93	0,98	1,07	18,5	1,73
Торнадо	27,5	98,3	65,5	-70,8	62,9	0,96	1,07	0,96	18,3	9,39
Арго	36,5	96,3	69,1	-59,8	66,4	1,02	0,92	1,46	26,2	3,38
Стюард	32,0	104,5	70,0	-72,5	68,2	1,03	1,05	1,15	21,4	9,56
Ариозо	29,5	94,8	68,4	-65,2	62,1	1,01	0,93	1,34	21,3	22,38
Бемоль 20	30,6	98,7	71,7	-68,1	64,6	1,05	1,04	1,23	22,2	8,30

Примечание. СУ – стрессоустойчивость, ГГ – генетическая гибкость, КА – коэффициент адаптивности, b_i – коэффициент линейной регрессии, Hom – гомеостатичность, Sc – селекционная ценность (по Хангильдину), S² – стабильность.

Генетическая гибкость (ГГ) отражает среднее значение продуктивности в контрастных условиях выращивания. Высокий уровень этого показателя свидетельствует о большой степени соответствия между генотипом и средой. По этому показателю ГГ выделились сорта Стюард и Арго – 68,2 и 66,4 соответственно.

Наиболее часто применяемым методом оценки адаптивности сортов является коэффициент линейной регрессии по среде (b_i), который отражает реакцию сортов на изменение условий среды. Значение этого показателя у изученных сортов было достаточно близким, с колебаниями от 0,92 до 1,07. Если b_i близок к единице – сорт пластичный, то есть реализует потенциал продуктивности в разных условиях возделывания. К таким сортам можно отнести сорт Аграф. Если больше единицы – сорт отзывчив на улучшение условий выращивания. К таким сортам относятся Торнадо, Стюард и Бемоль 20, они будут реагировать на ухудшение условий среды снижением продуктивности. Сорта, у которых этот показатель меньше единицы, такие как Арго и Ариозо, пригодны для выращивания в неблагоприятных условиях. На бедных агрофонах они будут иметь преимущество перед другими сортами.

Гомеостаз – комплексная система адаптивных реакций сорта. Гомеостатичность сорта показывает его способность сводить к минимуму негативные воздействия среды. К числу сортов с высокой гомеостатичностью (Hom) можно отнести сорт Арго. Этот сорт характеризуется также наибольшей селекционной ценностью (Sc).

Варианса стабильности S² показывает, насколько сорт соответствует пластичности, рассчитанной посредством коэффициента регрессии. Чем ближе его значение к 0, тем выше стабильность сорта. По существу, этот показатель аналогичен коэффициенту вариации, но рассчитывается с учетом различий между фактической и теоретической продуктивностью. В нашем случае стабильность сортов, рассчитанная вторым способом, совпадает со стабильностью, рассчитанной посредством коэффициента вариации внутри сред (по отдельным предшественникам). Наиболее стабильны сорта Аграф и Арго, что подтверждается показателями их коэффициентов вариации продуктивности (Аграф – 12,2 %, Арго – 9,9 %).

Более полную информацию о свойствах адаптивности и стабильности сортов дает метод, предложенный Кильчевским и Хотылевой. Мы рассчитывали общую (ОАС) и специфическую адаптивную способность ($\sigma^2 CAS_i$), относительную стабильность (σCAS_i), взаимодействие генотип–среда ($\sigma^2(G+A)_{gi}$), селекционную ценность генотипов (СЦГ), коэффициенты линейности (I_{gi}) и компенсации (K_{gi}).

Величина ОАС отражает возможности сорта формировать высокий урожай в большой совокупности сред. В наших исследованиях наибольший эффект общей адаптивной способностью отмечен у сорта Бемоль 20 (табл. 6), что подтверждают результаты изучения его продуктивности в разных средах. Сорт имел наибольший средний урожай зеленого корма при посеве в разные годы по разным предшественникам (табл. 6).

Таблица 6. Показатели адаптивной способности и стабильности кормовых сортов тритикале
Table 6. Indicators of adaptive capacity and stability of feed triticale varieties

Сорт	OAC _i	σ ² CAC _i	σCAC _i	σ ² _{(G+A)gi}	СЦГ _i	I _{gi}	K _{gi}
Аграф	-4,98	522,3	22,85	-1,42	30,1	-0,003	0,97
Торнадо	-2,44	633,4	25,17	10,14	29,3	0,016	1,17
Арго	1,19	464,2	21,55	3,39	38,1	0,007	0,86
Стюард	2,04	604,4	24,58	8,72	34,6	0,014	1,12
Ариозо	0,51	494,7	22,24	24,44	36,5	0,049	0,92
Бемоль 20	3,68	590,4	24,30	6,68	36,7	0,011	1,09

Примечание. OAC_i – общая адаптивная способность, σ²CAC_i – специфическая адаптивная способность, σCAC_i – относительная стабильность, σ²_{(G+A)gi} – взаимодействие генотип–среда, СЦГ_i – селекционная ценность генотипа, I_{gi} – коэффициент линейности ответа генотипа на среду, K_{gi} – коэффициент компенсации.

Чем ниже показатель специфической адаптивной способности σ²CAC_i, тем меньше будет меняться продуктивность сорта при изменении условий среды. В некотором смысле этот показатель аналогичен дисперсии стабильности S². Меньше всего реагирует на изменение условий выращивания сорт Арго, больше всего – сорт Торнадо.

Низкое значение дисперсии взаимодействия генотип–среда σ²_{(G+A)gi} показывает, что сорт адаптирован к широкому спектру условий, высокое – к узкому спектру. Можно заключить, что сорта Аграф и Арго, имеющие наиболее низкие показатели генотип–средового взаимодействия, адаптированы к широкому разнообразию условий возделывания, сорт Ариозо можно назвать узкоадаптированным.

Селекционная ценность генотипов (СЦГ) практически аналогична показателю S_c, но в отличие от него учитывает продуктивность не в двух средах (оптимальной и лимитирующей), а во всей совокупности сред. По уровню СЦГ лидировал сорт Арго. При этом сорт лидировал по показателям относительной ста-

бильности и некоторым другим параметрам. Коэффициент линейности I_{gi} всех сортов был меньше единицы, что свидетельствует о том, что отклик всех генотипов на изменение условий среды носит линейный характер.

Коэффициент компенсации K_{gi} отражает реакцию сорта на изменение условий среды, по своему значению он аналогичен коэффициенту линейной регрессии по среде. Величина его варьировала от 0,86 до 1,17. K_{gi} используется для определения характера взаимодействия генотипа со средой. При значении его меньше единицы взаимодействие носит компенсационный характер (Арго, Ариозо), при K_{gi} ≈ 1 эффекты компенсации и дестабилизации находятся в равновесии (Аграф, Бемоль 20). При K_{gi} > 1 взаимодействие генотипа со средой характеризуется как дестабилизирующее (Торнадо, Стюард).

Для определения комплексного адаптивного потенциала сортов с учетом рассчитанных параметров провели ранжирование сортов по основным количественным и качественным показателям адаптивности (табл. 7).

Таблица 7. Ранговая оценка показателей адаптивности сортов озимой тритикале (2018–2022 гг.)
Table 7. Rank estimation of adaptability indicators of winter triticale varieties (2018–2022)

Сорт	Урожайность		СУ	ГГ	КА	V, %	Ном	Sc	S ²	СЦГ _i	Сумма рангов
	средняя	max									
Аграф	6	6	2	6	6	2	5	5	1	5	44
Торнадо	5	3	5	4	5	4	6	6	4	6	50
Арго	3	4	1	2	3	3	1	1	2	1	20
Стюард	2	1	6	1	2	5	4	3	5	4	34
Ариозо	4	5	3	5	4	1	2	4	6	3	36
Бемоль 20	1	2	4	3	1	6	3	2	3	2	26

Примечание. СУ – стрессоустойчивость, ГГ – генетическая гибкость, КА – коэффициент адаптивности, V% – коэффициент вариации, Ном – гомеостатичность, Sc – селекционная ценность (по Хангильдину), S² – стабильность, СЦГ_i – селекционная ценность генотипа.

По сумме рангов сорта распределились следующим образом: 1 – Арго (сумма рангов 20), 2 – Бемоль 20 – (26), 3 – Стюард (34), 4 – Ариозо (36), 5 – Аграф (44), 5 – Торнадо (50).

Выводы. В ФГБНУ ФРАНЦ созданы новые высокопродуктивные озимые сорта тритикале, предназначенные на зеленый корм. За годы исследований наибольший урожай по пару сформировал сорт Стюард (90,4 т/га, максимальный –

104,5 т/га), по предшественнику просо – сорт Бемоль 20 (51,6, максимальный – 67,1 т/га). Установлено, что на изменчивость продуктивности кормовых сортов основное влияние (89,0 %) оказывают условия среды (предшественник, год), влияние сорта составляет лишь 4,6 %. Вариабельность продуктивности сортов по двум предшественникам достаточно высокая – от 31,3 % у сорта Арго до 38,6 % у Торнадо.

По предшественнику пар продуктивность сортов варьировала в разы меньше, с колебаниями от 9,9 % у сорта Ариозо до 18,8 % у сорта Стюард, по непаровому предшественнику изменчивость урожайности менялась от 19,7 % у Агро до 30,7 % у сорта Стюард.

Анализ параметров адаптивности изученных сортов позволил разносторонне оценить адаптивные свойства сортов. Так, сорт Аграф имел ранг 1 по стабильности (S^2), Стюард –

по максимальному урожаю и генетической гибкости (ГГ), Бемоль 20 – по средней продуктивности во всей совокупности сред, коэффициенту адаптации (КА). По сумме рангов основных количественных и качественных показателей адаптивности лидировал сорт Арго (сумма рангов 20) – с рангом 1 по стрессоустойчивости (СУ), гомеостатичности (Ном), селекционной ценности генотипа (Sc и СЦГ).

Библиографические ссылки

1. Богдан П. М., Клык А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum Durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184(1), С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Горянина, Т. А. Урожайность и качество зеленой массы озимых культур в зависимости от сроков сева // Кормопроизводство. 2019. № 6. С. 23–27. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.32189
3. Засыпкина И. М., Донцова А. А. Результаты изучения параметров адаптивности озимого ячменя по предшественникам // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 48–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-48-54
4. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды // Генетика. 1985. Т. XXI, № 9. С. 1491–1498.
5. Ковтуненко В. Я., Беспалова Л. А., Панченко В. В., Калмыш А. П., Гольдварг Б. А. Роль тритикале в повышении продуктивности кормопроизводства // Кормопроизводство. 2019. № 2. С. 14–17. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.25888
6. Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Гординская Е. А., Бирюков К. Н., Барулина Н. И. Селекция тритикале кормового направления на продуктивность и адаптивность // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610
7. Мелешкина Е. П., Бундина О. И. Зерно тритикале и продукты его переработки: новые ГОСТы // Контроль качества продукции. 2018. № 11. С. 24–27.
8. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113.
9. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Фомин С. И., Маннапова Г. С. Кормовая ценность сортов озимой тритикале в Средневолжском регионе // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 7. С. 47–51. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10711
10. Рыбась И. А., Иванисов М. М., Марченко Д. М., Киринов А. В., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Ивженко Н. А. Оценка параметров адаптивности сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73
11. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. Одесса, 1981. Вып. 1(39). С. 8–14.
12. Протокол № 4 от 19.12.2023 г. порядка проведения Экспертной комиссии по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам. URL: <https://gossortrf.ru/upload/files/activity/ek/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%20%20%D0%BE%D1%82%2019.12.23.pdf> (дата обращения: 10.07.2024).

References

1. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuz'menko N. V. Adaptivnyi potentsial yarovoi tvrdoi pshenitsy (*Triticum Durum* Desf.) v usloviyakh Primorskogo kraia [Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) in the Primorsky Krai] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2023. T. 184(1), S. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Goryanina, T. A. Urozhainost' i kachestvo zelenoi massy ozimyykh kul'tur v zavisimosti ot srokov seva [Productivity and quality of green mass of winter crops depending on sowing time] // Kormoproizvodstvo. 2019. № 6. S. 23–27. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.32189
3. Zasypkina I. M., Dontsova A. A. Rezul'taty izucheniya parametrov adaptivnosti ozimogo yachmenya po predshestvennikam [Study results of the adaptability parameters of winter barley based on forecrops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 1. S. 48–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-48-54
4. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. Metod otsenki adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differentsiruyushchei sposobnosti sredy [Method for estimating the adaptive capacity and stability of genotypes, the differentiating ability of the environment] // Genetika. 1985. T. XXI, № 9. S. 1491–1498.
5. Kovtunenkov V. Ya., Bespalova L. A., Panchenko V. V., Kalmysh A. P., Gol'dvarg B. A. Rol' tritikale v povyshenii produktivnosti kormoproizvodstva [The role of triticale in improving productivity of feed production] // Kormoproizvodstvo, 2019. № 2. S. 14–17. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.25888
6. Krokhmal' A. V., Grabovets A. I., Gordinskaya E. A., Biryukov K. N., Barulina N. I. Seleksiya tritikale kormovogo napravleniya na produktivnost' i adaptivnost' [Breeding of feed triticale for productivity and adaptability] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 6. S. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610
7. Meleshkina E. P., Bundina O. I. Zerno tritikale i produkty ego pererabotki: novye GOSTy [Triticale grain and products of its processing: new GOSTs] // Kontrol' kachestva produktsii. 2018. № 11. S. 24–27.

8. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sortov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Estimation of environmental adaptability and stability of grain crop varieties] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 1984. № 4. S.109–113.

9. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Fomin S. I., Mannapova G. S. Kormovaya tsennost' sortov ozimoi tritikale v Srednevolzhskom regione [Feed value of winter triticale varieties in the Middle Volga region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 7. S. 47–51. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10711

10. Rybas' I. A., Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kirin A. V., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu., Ivzhenko N. A. Otsenka parametrov adaptivnosti sortov ozimoi pshenitsy v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Estimation of adaptability parameters of winter wheat varieties in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73

11. Khangil'din V. V., Litvinenko N. A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties] // Byulleten' Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta. Odessa, 1981. Vyp. 1(39). S. 8–14.

12. Protokol № 4 ot 19.12.2023 g. poryadka provedeniya Ekspertnoi komissii po zernovym, zernobobovym i krupyanyam kul'turam [Protocol No. 4 on December 19, 2023, on the procedure for conducting the Expert Commission on grains, legumes, and cereal crops]. URL: <https://gossortrf.ru/upload/files/activity/ek/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%204%20%D0%BE%D1%82%2019.12.23.pdf> (data obrashcheniya: 10.07.2024).

Поступила: 27.04.24; доработана после рецензирования: 26.07.24; принята к публикации: 26.07.24.

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. Крохмаль А. В. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Гординская Е. А. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов; Барулина Н. И. – выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

МОДЕЛЬ СОРТА ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Б. И. Сандухадзе, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, sanduchadze@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7184-7645;

Р. З. Мамедов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, mam-ramin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2473-4538;

М. С. Крахмалева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лабораторией селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, mam-ramin@yandex.ru, korovushkina.mar@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0861-1514;

В. В. Бугрова, старший научный сотрудник лабораторией селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, mam-ramin@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0001-5730-7826;

С. В. Соболев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, monblan8@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0008-3144-4495;

Я. С. Молодовский, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы, ja.molodowsky@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-0314-5245

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФИЦ «Немчиновка», 143026, Московская область, г. Одинцово, рп Новоивановское, ул. Агротехников, д. 6; e-mail: mosniish@yandex.ru

Для эффективной селекционной работы необходимы четкие ориентиры, так называемая модель сорта. Селекция озимой мягкой пшеницы не является исключением. Представлена характеристика оптимальной модели сорта для условий Нечерноземной зоны, описанная по данным лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка». Урожайность должна быть выше 10,0 т/га, зимостойкость – от 90 %, длина вегетационного периода – 310 дней. Высота растений модели сорта составляет 60–70 см, устойчивость к полеганию 5 баллов. Сорт должен обладать полевой устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе, септориозу листьев и колоса. Структурные элементы продуктивности: густота стеблестоя на 1 м² – 650–700 шт., число зерен в колосе выше 50 шт., масса зерна с колоса – 2,0–2,5 г, масса 1000 зерен выше 50 г. Содержание белка в зерне – 15 %, клейковины – 30 %. Целью работы являлось изучение линий селекционного питомника озимой пшеницы по степени соответствия заданной модели сорта по данным 2023 года. Выявлено, что эти линии имели характеристики, соответствующие оптимальной модели сорта для условий Нечерноземья по отдельности или в совокупности. По высоте, продуктивности, массе зерна с колоса, числу зерен в колосе и массе 1000 зерен распределение частоты встречаемости линий было нормальным. При корреляционном анализе установлено, что средняя положительная взаимосвязь выявлена между массой зерна с колоса и числом зерен в колосе ($r = 0,56 \pm 0,05$), массой зерна с колоса и массой 1000 зерен ($r = 0,48 \pm 0,06$). Средняя отрицательная корреляция выявлена между числом зерен в колосе и массой 1000 зерен ($r = -0,44 \pm 0,06$). Корреляция между другими изученными показателями была слабой либо отсутствовала, что указывает на возможность совмещения в одном генотипе оптимальных параметров продуктивности.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, модель сорта, урожайность, качество.

Для цитирования: Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В., Соболев С. В., Молодовский Я. С. Модель сорта озимой мягкой пшеницы для условий Центрального Нечерноземья // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 90–96. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-90-96.



A WINTER COMMON WHEAT VARIETY MODEL FOR THE CENTRAL NON-BLACK EARTH REGION

B. I. Sandukhadze, professor, academician of RAS, main researcher of the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production, sanduchadze@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7184-7645;

R. Z. Mamedov, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production, mam-ramin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2473-4538;

M. S. Krakhmaleva, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production, korovushkina.mar@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0861-1514;

V. V. Bugrova, senior researcher of the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production, ORCID ID: 0009-0001-5730-7826;

S. V. Sobolev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production, monblan8@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0008-3144-4495;

Ya. S. Molodovsky, senior researcher of the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production, ja.molodowsky@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-0314-5245
FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka",
143026, Moscow region, Odintsovsky region, Odintsovsky district, v. of Novoivanovskoe,
Agrokhimikov Str., 6; e-mail: mosniish@yandex.ru

For effective breeding work, clear guidelines (the so-called variety model) are of great necessity. Winter common wheat breeding is no exception. There has been given characteristics of the optimal variety model for the Non-Blackearth region according to the data obtained in the laboratory for winter wheat breeding and primary seed production of the FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka". There should have productivity of more than 10.0 t/ha, winter resistance of 90 % and higher, 310 days of vegetation period. The plant height of the variety model was 60–70 cm, lodging resistance was 5 points. The variety must have field resistance to leaf rust, powdery mildew, and leaf and ear blight. Yield structure elements were as follows: stem density was of 650–700 pieces per 1 m², number of grains per ear was above 50 pieces, grain weight per ear was 2.0–2.5 g, 1000-grain weight was above 50 g. There was 15 % of protein and 30 % of gluten in grain. The purpose of the current work was to study the lines of winter wheat breeding according to a compliance degree with a given variety model according to the data of 2023. There was established that these lines had characteristics corresponding to the optimal variety model for the Non-Blackearth Region, individually or in combination. In terms of plant height, productivity, grain weight per ear, a number of grains per ear and 1000-grain weight, the frequency distribution of lines was normal. Correlation analysis has found out that a mean positive correlation was between grain weight per ear and a number of grains per ear ($r = 0.56 \pm 0.05$), and grain weight per ear and 1000-grain weight ($r = 0.48 \pm 0.06$). A mean negative correlation was found between a number of grains per ear and 1000-grain weight ($r = -0.44 \pm 0.06$). Correlation between other studied indicators was weak or absent, which indicates the possibility of combining optimal productivity parameters in one genotype.

Keywords: winter common wheat, variety model, productivity, quality.

Введение. Для любой селекционной работы необходим вектор, на который нужно ориентироваться селекционеру, так называемая модель сорта. Параметры этой модели должны сочетать в себе признаки и свойства, дающие возможность формировать заданные селекционером показатели. Такое ориентирование на модель сорта используется в лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка».

Еще в 1935 г. Н. И. Вавилов писал о необходимости использования в селекционной работе модели сорта. Однако необходимо понимать, что параметры модели сорта могут различаться в зависимости от целей селекции. Так, при создании сильных и ценных пшениц большее внимание должно уделяться показателям качества. При создании урожайного сорта необходима его адаптированность к почвенно-климатическим условиям выращивания, именно они диктуют свои требования к сортовым показателям (Фоменко и др., 2020; Ионова и др., 2021; Трипутин и др., 2023). Поэтому сорта для разных зон возделывания имеют свои особенности.

Н. А. Егорцев (2003) для условиях засушливой степи Поволжья дал характеристику модельных элементов структуры урожая для сортов озимой пшеницы: продуктивная кустистость – 3,3–3,6 шт., высота стебля – 100–105 см, длина колоса – 9–10 см, количество колосков в колосе – 18–19 шт., количество зерен в колосе – 38–40 шт., масса 1000 зерен – 38–40 г, масса зерна с растения – 3,3–3,5 г и урожайность зерна – 4,0–4,5 т/га.

Объемы производства озимой мягкой пшеницы в Краснодарском крае являются значительными. Высокая плотность выращивания зерновых культур в этом регионе диктует свои особенности селекции, используется так называемая «мозаика сортов», то есть создаваемые сорта узко специфичны в зависимо-

сти от условий выращивания. По сообщению Л. А. Беспаловой (2015), сорта нового поколения превосходят по урожайности Безостую 1 на 20–30 ц с 1 га в зависимости от группы качества. Увеличение реализуемой потенциальной урожайности агрохимически эффективных высокоустойчивых к полеганию сортов, таких как Гром, Сила, Калым, продолжается за счет дальнейшей трансформации морфоструктуры растения, перестройки архитектоники ценоза, уменьшения конкуренции за свет в оптически плотных посевах.

Ростовская область является лидером РФ по количеству посевных площадей озимой мягкой пшеницы. В условиях Ростовской области важную роль играет сортосмена сортов озимой мягкой пшеницы. Следует отметить, что достоинство сорта оценивается не только посевными качествами, но и величиной продуктивности и адаптивности к неблагоприятным факторам среды (почвенная засуха и высокие температуры воздуха). Наиболее высокие показатели величины продуктивности и степени засухоустойчивости и жаростойкости отмечены у сортов, созданных в 2010–2018 гг., величина их средней урожайности составила 6,2 т/га, показатели засухоустойчивости варьировали от 95 до 99 %, а жаростойкость – от 97 до 99 %. Внедрение в производство новых высокопродуктивных сортов и гибридов позволит увеличить урожайность зерновых культур на 10–20 % (Газе и др., 2018).

Для производства озимой мягкой пшеницы в Беларуси И. К. Коптик (2000) описал оптимальные параметры сортов озимой пшеницы высокоинтенсивного типа: урожайность зерна – 10,1–11,0 т/га, количество колосков в колосе – 19–20 шт., количество зерен в колосе – 52–60 шт., масса 1000 зерен – 45–50 г, масса зерна с колоса – 2,3–3,0 г, высокая устойчивость к осыпанию, длина стебля – 75–80 см, устойчивость к полеганию – 5,0 баллов, содер-

жание белка в зерне – 12,0–13,0 %, содержание в зерне сырой клейковины – 25–28 %.

Согласно описанным выше параметрам, озимая мягкая пшеница должна отличаться высокой экологической пластичностью, иметь низкий прочный стебель (до 90 см), обеспечивающий устойчивость к полеганию. Также необходимым является высокий уборочный индекс, достигающий до 60 %, высокая масса зерна с колоса, свыше 2 г, и число продуктивных колосьев на 1 м² – от 400 штук.

Сандухадзе и др. (2021), Громова и др. (2021), Ковтун и др. (2021) обращают внимание

на то, что сорт, наиболее полно отвечающий параметрам модели сорта, обязательно должен быть одним из родительских компонентов в скрещиваниях в селекции для конкретной зоны выращивания.

Параметры модели сорта для условий Нечерноземья даны в сравнении со стандартным сортом Московская 39 (районирован в 1999 г.), имеющим средний потенциал продуктивности и выдающиеся качественные показатели, и новым сортом Немчиновская 85 (районирован в 2021 г.) – высокопродуктивным, «сильная» пшеница (табл. 1).

Таблица 1. Основные признаки и свойства модели сорта, оптимально приспособленного для условий центрального Нечерноземья
Table 1. Main traits and properties of the variety model optimally adapted for the Central Non-Blackearth Region

Показатель	Единица измерения	Московская 39, st	Немчиновская 85	Модель сорта
Урожайность	т/га	6,76	8,20	>10,00
Зимостойкость	%	82,6	82,9	90,0
Вегетационный период	дни	324	325	310
Высота	см	108	85	60–70
Устойчивость к полеганию	балл	4,3	5,0	5,0
Поражение бурой ржавчиной	%	10	5	0
Поражение мучнистой росой	%	20	10	0
Поражение септориозом листьев	%	20	20	0
Поражение септориозом колоса	%	10	5	0
Число колосьев/1 м ²	шт.	350–400	400–500	650–700
Число зерен в колосе	шт.	31	35	>50
Масса зерна с колоса	г	1,0	1,2	2,0–2,5
Масса 1000 зерен	г	46,5	43,4	>50,0
Содержание белка в зерне	%	15,8	14,7	>15,0
Содержание клейковины в муке	%	35,6	30,7	>30,0

В модель сорта высокой интенсивности мы вкладываем наиболее важные показатели продуктивности, ее структуры, хозяйственно полезные признаки и свойства, качественные показатели и др. Для условий Нечерноземья лимитирующими факторами среды являются снежные холодные зимы, ледяная корка, снижающие перезимовку пшеницы, и обилие осадков в период налива зерна, что провоцирует сильное полегание посевов.

Селекционный процесс является непрерывным, и практически каждый год на Государственное сортоиспытание передаются новые сорта. За период 2022 и 2023 гг. на ГСИ было передано 6 перспективных линий

озимой мягкой пшеницы: Немчиновская 14, Московская 31, Немчиновская 44, Московская 28, Московская 42 и Васильевна. По многим показателям эти линии очень близки к заданной модели сорта. Так, урожайность линии Васильевна составила 9,30 т/га, зимостойкость линий Немчиновская 14, Московская 31, Московская 42 была выше 90 %, масса 1000 зерен у линий Московская 28 и Васильевна выше 50 г. Наименьшая высота растений была у линии Немчиновская 44 – 81 см, по озерненности колоса наиболее приближенной к модели сорта была линия Немчиновская 14 – 38 шт., также эта линия выделяется по содержанию белка в зерне – 14,9 % (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика перспективных линий озимой мягкой пшеницы, переданных на ГСИ
Table 2. Characteristics of promising winter common wheat lines sent to the State Variety Testing (SVT)

Линия	Урожайность, т/га	Зимостойкость, %	Высота, см	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колосе, шт.	Содержание белка в зерне, %
По данным 2020–2022 гг.						
Немчиновская 14	6,85	92,6	84,8	44,3	38,0	14,9
Московская 31	8,71	92,6	95,1	46,5	31,9	13,7
Московская 39, st	6,38	88,4	110,1	43,8	28,6	15,6
НСП ₀₅	4,2	–	8,8	2,9	1,6	–

Продолжение табл. 2

Линия	Урожайность, т/га	Зимостойкость, %	Высота, см	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колосе, шт.	Содержание белка в зерне, %
По данным 2021–2023 гг.						
Немчиновская 44	8,78	86,8	81,0	46,7	34,6	13,9
Московская 42	8,09	95,2	85,7	47,7	31,6	13,6
Московская 28	8,38	85,4	99,0	50,2	31,6	12,9
Васильевна	9,30	89,6	87,7	50,8	33,3	13,8
Московская 39, st	7,35	88,3	108,8	44,6	31,3	14,5
HCP ₀₅	4,5	–	5,6	3,1	2,0	–

Целью работы являлась оценка линий озимой мягкой пшеницы, изучаемых в селекционном питомнике, что актуально для анализа перспектив селекционной работы, проводимой в лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы ФИЦ «Немчиновка».

Материалы и методы исследований.

Полевые опыты вегетационного периода 2022–2023 гг. проводили на полях селекционного севооборота. Почва дерново-подзолистая суглинистая. Содержание гумуса 2,1–2,5 %, рН солевой вытяжки в слое почвы 0–20 см – 5,4, гидролитическая кислотность – 2,51 мг-экв на 100 г почвы. Содержание P₂O₅ (по Кирсанову) – 237 мг/кг почвы (по Масловой), K₂O – 134 мг/кг почвы. Мощность пахотного слоя 28 см. Агротехника возделывания озимой пшеницы в опыте – общепринятая для зоны.

Предшественником озимой пшеницы служил чистый пар. Минеральные удобрения вносили под культивацию из расчета N₂₄ P₆₀ K₆₀ (аммофоска).

Селекционный питомник был посеян касетной сеялкой Wintersteiger. Площадь делянки составила 1,5 м². В селекционном питомнике в 2023 г. была посеяна 2001 линия озимой пшеницы, из них отобрали 188 шт., обладающих по отдельности или в комплексе необходимыми для модели сорта характеристиками, данные линии изучены по элементам структуры урожая. Статистическую обработку данных провели с помощью программы Excel.

Погодные условия вегетации 2022–2023 гг. были относительно благоприятными для культуры озимой пшеницы (рис. 1, 2).

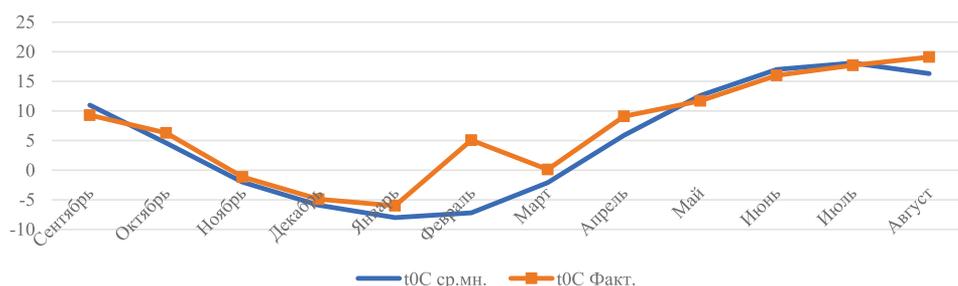


Рис. 1. Температурный режим вегетационного периода, °C (2022–2023 гг.)
Fig. 1. Temperature regime of the vegetation period, °C (2022–2023)

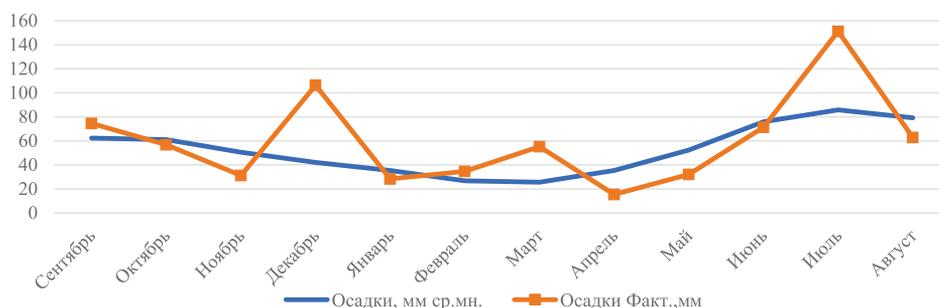


Рис. 2. Количество осадков за вегетационный период, мм (2022–2023 гг.)
Fig. 2. Precipitation in the vegetation period, mm (2022–2023)

Температурный режим практически во все месяцы соответствовал среднемноголетним данным, за исключением сентября 2022 г.,

февраля, марта, апреля и августа 2023 года. В период вегетации 2022–2023 гг. количество выпавших осадков в большинстве месяцев

превышало среднеголетние данные. В декабре и июле количество осадков составило 106,3 и 151,2 мм соответственно, что составляет 252 и 176 % от среднеголетних соответственно. Зимостойкость пшеницы в условиях посевов ФИЦ «Немчиновка» была хорошей, практически все образцы имели процент перезимовки выше 90. Полегание посевов было отмечено только в конце июля перед уборкой урожая по причине выпадения большого количества осадков – во вторую и третью декады июля выпало 263 и 268 % от нормы. Хорошая влагообеспеченность пшеницы во время налива зерна способствовала отличному наливу зерна. Как следствие, зерно было крупным, выполненным, что в сочетании с хорошей перезимовкой сформировало высокую продуктивность озимой пшеницы.

Результаты и их обсуждение. На рисунках 3–7 представлено распределение частоты встречаемости линий по основным элементам продуктивности, по всем признакам распределение соответствовало нормальному. Продуктивность линий в условиях 2023 г. значительно различалась – от 323 до 1097 г/м², среднее значение 699 г, большинство линий имели

урожайность от 561 до 919 г. По этому признаку коэффициент вариации составил 21,4 %, наибольший среди изученных признаков.

В 2023 г. средняя высота отобранных линий составила 80,14 см – от 53 до 105 см. Большинство линий имели высоту в диапазоне от 73 до 85 см. Высоту от 60 до 70 см, требуемую для модели сорта, имели 19 линий. Полегание у линий в селекционном питомнике не было отмечено, устойчивость составила 5 баллов по 5-балльной шкале, у стандарта Московская 39 – 2,7 балла устойчивости.

Масса зерна с колоса у изученных линий колебалась в диапазоне от 1,78 до 3,44 г, среднее значение – 2,54 г. Масса зерна с колоса выше 3 г выявлена у 19 линий, что составляет 10,1 % от общего числа линий.

Среднее число зерен в колосе 52,7 шт., с лимитами от 37,8 до 68,8. Коэффициент вариации 12,3 %. У большинства линий (157 шт.) число зерен в колосе было выше 50 шт.

Также у линий селекционного питомника было крупное зерно, средняя масса 1000 зерен 48,6 г с колебаниями от 36,8 до 61,8 г. У 94 линий (50 % от общего числа) масса 1000 зерен была выше 50 г.

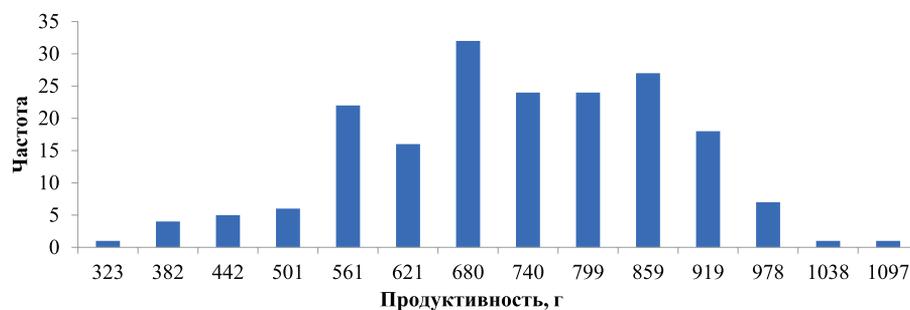


Рис. 3. Распределение линий по продуктивности (\bar{x} = 699 г, CV = 21,4 %)

Fig. 3. Distribution of lines according to productivity (\bar{x} = 699 г, CV = 21,4 %)

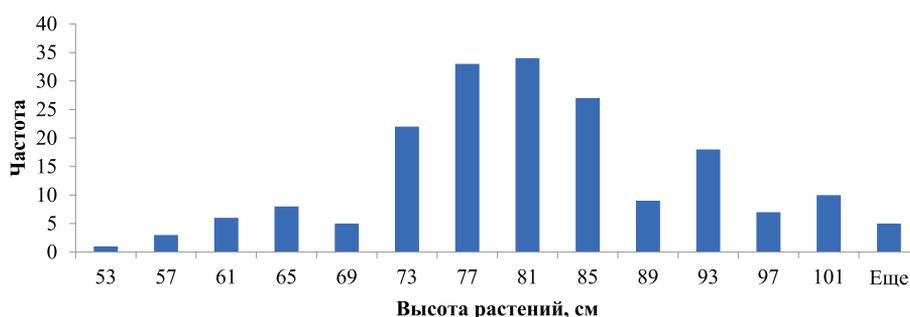


Рис. 4. Распределение линий по высоте растений (\bar{x} = 80,14; CV = 13,3 %)

Fig. 4. Distribution of lines according to plant height (\bar{x} = 80,14; CV = 13,3 %)

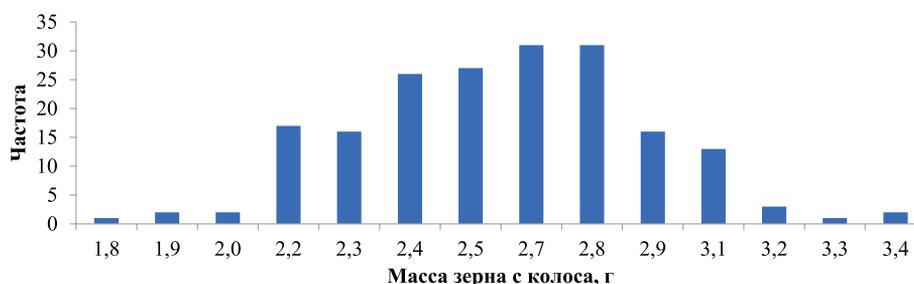


Рис. 5. Распределение линий по массе зерна с колоса (\bar{x} = 2,54; CV = 11,7 %)

Fig. 5. Distribution of lines according to grain weight per ear (\bar{x} = 2,54; CV = 11,7 %)

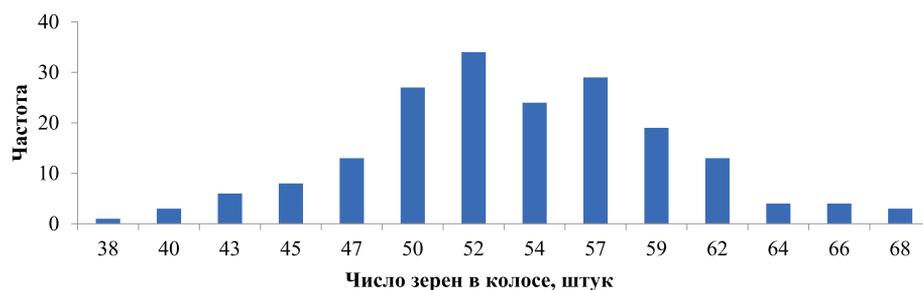


Рис. 6. Распределение линий по числу зерен в колосе ($\bar{x} = 52,7$; CV = 12,3 %)
 Fig. 6. Distribution of lines according to a number of grains per ear ($\bar{x} = 52,7$; CV = 12,3 %)

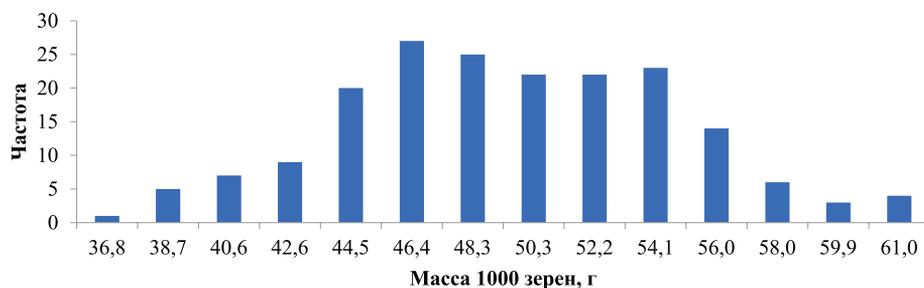


Рис. 7. Распределение линий по массе 1000 зерен ($\bar{x} = 48,6$; CV = 10,6 %)
 Fig. 7. Distribution of lines according to 1000-grain weight ($\bar{x} = 48,6$; CV = 10,6 %)

В 2023 г. большинство линий селекционного питомника имело следующие характеристики: продуктивность – 600–900 г/м², высота растений – 73–85 см, масса зерна с колоса –

2,2–2,9 г, число зерен в колосе – 50–57 шт. и масса 1000 зерен – 44,5–54,1 г. По последним двум показателям большинство изученных линий соответствовали модели сорта (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициент корреляции (r) между показателями продуктивности
 Table 3. Correlation coefficient (r) among productivity indices

	Масса зерна с колоса	Число зерен в колосе	Масса 1000 зерен	Высота	Продуктивность
Масса зерна с колоса	–	0,56±0,05	0,48±0,06	-0,08±0,07	0,28±0,07
Число зерен в колосе	–	–	-0,44±0,06	-0,12±0,07	0,11±0,07
Масса 1000 зерен	–	–	–	0,01±0,07	0,17±0,07
Высота	–	–	–	–	0,21±0,07
Продуктивность	–	–	–	–	–

Средний положительный уровень взаимосвязи отмечен между массой зерна с колоса/числом зерен в колосе ($r = 0,56 \pm 0,05$) и массой зерна с колоса/массой 1000 зерен ($r = 0,48 \pm 0,06$), что можно объяснить их функциональной сопряженностью. Средняя отрицательная корреляция выявлена между числом зерен в колосе и массой 1000 зерен ($r = -0,44 \pm 0,06$), то есть чем больше число зерен в колосе, тем меньше его крупность, что затрудняет совмещение в одном колосе высокой озерненности и крупности зерна. Между остальными показателями не отмечено сильной взаимосвязи, что свидетельствует о возможности сочетания в одном генотипе короткостебельности и высокой продуктивности.

Выводы. В исследовании указаны оптимальные параметры модели сорта для условий Нечерноземья РФ. В условиях 2023 г. в селекционном питомнике лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой пшеницы «ФИЦ «Немчиновка» имелись ценные генотипы, по отдельным параметрам или с их комплексом соответствующие требованиям модели сорта, с высотой растений 60–70 см, числом зерен в колосе больше 50 шт., массой зерна с колоса 3,0 г и массой 1000 зерен свыше 50 г. Данные линии перспективны в дальнейшей селекционной работе для создания новых сортов озимой мягкой пшеницы.

Библиографические ссылки

1. Беспалова, Л. А. Развитие генофонда как главный фактор третьей зеленой революции в селекции пшеницы // Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85, № 1. С. 9–11. DOI: 10.7868/S086958731501003X
2. Газе В. Л., Ионова Е. В., Марченко Д. М., Лиховидова В. А. Сортосмена озимой мягкой пшеницы как механизм увеличения продуктивности и устойчивости к абиотическим факторам среды // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6(60). С. 16–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-16-20
3. Громова С. Н., Скрипка О. В., Подгорный С. В., Самофалов А. П., Чернова В. Л. Особенности формирования параметров модельного сорта озимой мягкой пшеницы интенсивно-

го типа для условий Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 78–82. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-78-82

4. Егорцев, Н. А. Научно-методические проблемы селекции озимой пшеницы в Среднем Поволжье и пути их решения: монография. Кинель, 2003. 354 с.

5. 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. С. 3–7. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7

6. Коптик, И. К. Оптимальные параметры морфотипов сортов озимой пшеницы для почвенно-климатических регионов Беларуси // История Академии аграрных наук Республики Беларусь. 2000. № 4. С. 44–48.

7. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н., Майорова К. А. Новые генетические источники высокой урожайности зерна пшеницы мягкой озимой // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8(173). С. 40–46. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-40-46

8. Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 367–373. DOI: 10.18699/VJ21.53-0

9. Трипутин В. М., Ковтуненко А. Н., Кашуба Ю. Н., Кротова Л. А. Адаптивность образцов озимой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вестник Омского ГАУ. 2023. № 3(51). С. 77–82.

10. Фоменко М. А., Грабовец А. И., Олейникова Т. А. Особенности селекционного улучшения озимой пшеницы в степной зоне Ростовской области // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 18–22. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/18-22

References

1. Bepalova, L. A. Razvitiye genofonda kak glavnyi faktor tret'ei zelenoi revolyutsii v selektsii pshenitsy [Development of the gene pool as the main factor of the third green revolution in wheat breeding] // Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. 2015. T. 85, № 1. S. 9–11. DOI: 10.7868/S086958731501003X

2. Gaze V. L., Ionova E. V., Marchenko D. M., Likhovidova V. A. Sortosmena ozimoi myagkoi pshenitsy kak mekhanizm uvelicheniya produktivnosti i ustoychivosti k abioticheskim faktoram sredy [Variety change of winter common wheat as a mechanism for improving productivity and resistance to abiotic environmental factors] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6(60). S. 16–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-16-20

3. Gromova S. N., Skripka O. V., Podgornyi S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L. Osobennosti formirovaniya parametrov model'nogo sorta ozimoi myagkoi pshenitsy intensivnogo tipa dlya uslovii Rostovskoi oblasti [Features of the formation of parameters of a model winter common wheat variety of an intensive type for the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 6(78). S. 78–82. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-78-82

4. Egorsev, N. A. Nauchno-metodicheskie problemy selektsii ozimoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e i puti ikh resheniya: monografiya [Scientific and methodological problems of winter wheat breeding in the Middle Volga region and the ways to solve them: monograph]. Kinel', 2003. 354 s.

5. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Gaze V. L. Izmeneniye mekhanizmov adaptivnosti i urozhainosti sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh po etapam sortosmeny [Changes in the mechanisms of adaptability and productivity of winter common wheat varieties in arid conditions according to the stages of variety change] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 1. S. 3–7. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-3-7

6. Koptik, I. K. Optimal'nye parametry morfotipov sortov ozimoi pshenitsy dlya pochvenno-klimaticheskikh regionov Belarusi [Optimal parameters of morphotypes of winter wheat varieties for soil and climatic regions of Belarus] // Istoriya Akademii agrarnykh nauk Respubliki Belarus'. 2000. № 4. S. 44–48.

7. Kovtun V. I., Kovtun L. N., Maiorova K. A. Novye geneticheskie istochniki vysokoi urozhainosti zerna pshenitsy myagkoi ozimoi [New genetic sources of high grain productivity of winter common wheat] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 8(173). S. 40–46. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-40-46

8. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Nauchnaya selektsiya ozimoi myagkoi pshenitsy v Nечерноземной зоне Rossii: istoriya, metody i rezul'taty [Scientific breeding of winter common wheat in the Non-Blackearth part of Russia: history, methods and results] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 4. S. 367–373. DOI: 10.18699/VJ21.53-0

9. Triputin V. M., Kovtunencko A. N., Kashuba Yu. N., Krotova L. A. Adaptivnost' obraztsov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Adaptability of winter wheat samples in Western Siberia] // Vestnik Omskogo GAU. 2023. № 3 (51). S. 77–82.

10. Fomenko M. A., Grabovets A. I., Oleinikova T. A. Osobennosti selektsionnogo uluchsheniya ozimoi pshenitsy v stepnoi zone Rostovskoi oblasti [Features of breeding improvement of winter wheat in the steppe part of the Rostov region] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2020. № 5. S. 18–22. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/18-22

Поступила: 08.07.24; доработана после рецензирования: 08.08.24; принята к публикации: 9.08.24.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Сандухадзе Б. И. – концептуализация исследования; Мамедов Р. З. – подготовка опыта; Соболев С. В., Молодовский Я. С. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Бугрова В. В. – анализ данных и их интерпретация; Крахмалева М. С. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. П. Кадушкина, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы, kadushkina1964@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6363-9352;

М. А. Фоменко, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, главный научный сотрудник, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5383-6863;

С. А. Коваленко, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы, sa_kovalenko_83@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0726-7499;

О. В. Бирюкова, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371,

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1;
e-mail: dzni@mail.ru

Цель исследований – оценка адаптивного потенциала четырех сортов и трех линий яровой твердой пшеницы селекции ФГБНУ ФРАНЦ за 2020–2023 гг. на основе результатов их испытания в степной зоне Ростовской области. Оценку экологической пластичности и стабильности сортов и линий определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина, показатель гомеостатичности – по В. В. Хангильдину. Представлена оценка сортов и линий по урожайности, экологической стабильности, пластичности и технологических показателей зерна. Установлено, что в среднем урожайность по сортам и линиям составила 3,44 т/га, варьирование по годам – 1,81–4,72 т/га. Сорта Донская лазоревая и Вольнодонская золотистая сформировали максимальную среднюю урожайность по годам – 3,52 и 3,58 т/га. Они отличались наибольшей стабильностью и пластичностью, о чем свидетельствовали низкий коэффициент вариации (3,6 и 2,4 % соответственно) и наибольшая гомеостатичность (42,37 и 67,06). Выяснено, что Вольнодонская золотистая является сортом, сочетающим в себе высокие показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности ($b_i = 1,08$; $S_i^2 = 0,016$; $\text{Hom} = 42,37$). У сорта Вольнодонская и у линий Горд. 4699/19, Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21 отмечали полное соответствие уровня урожайности изменению условий возделывания при коэффициенте регрессии $b_i \leq 1$. Наибольшей стабильностью по урожайности отличалась линия Горд. 4699/19 ($S_i^2 = 0,007$). Коэффициент регрессии (b_i) составлял 0,93, гомеостатичность – 67,06, что свидетельствует также о ее высокой экологической пластичности. По содержанию белка в зерне практически все сорта и линии отвечали требованиям 1-го класса ГОСТ 9353-2016. Содержание клейковины варьировало в пределах от 20,0 до 25,5 % (2–4-й класс). На основании комплексной оценки по показателям урожайности и качества зерна, по параметрам адаптивности в условиях степной зоны Ростовской области выделены сорта Донская лазоревая, Вольнодонская золотистая и линия Горд. 4699/19, рекомендуемые для селекции на продуктивность и качество зерна.

Ключевые слова: яровая твердая пшеница, адаптивность, пластичность, стабильность, гомеостатичность.

Для цитирования: Кадушкина В. П., Фоменко М. А., Коваленко С. А., Бирюкова О. В. Параметры адаптивности и показатели качества яровой твердой пшеницы в степной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 97–104. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-97-104.



ADAPTABILITY PARAMETERS AND QUALITY INDICATORS OF SPRING DURUM WHEAT IN THE STEPPE PART OF THE ROSTOV REGION

V. P. Kadushkina, senior researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, kadushkina1964@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6363-9352;

M. A. Fomenko, Doctor of Agricultural Sciences, head of the department of breeding and seed production of wheat and triticale, main researcher, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5383-6863;

S. A. Kovalenko, researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, sa_kovalenko_83@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0726-7499;

O. V. Biryukova, senior researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371

FSBSI "Federal Rostov Agricultural Research Center",
346735, Rostov region, Aksay district, v. of Rassvet, Institutskaya Str., 1; e-mail: dzni@mail.ru

The purpose of the current study was to estimate the adaptive potential of four varieties and three lines of spring durum wheat developed by the FSBSI FRARC based on the results of their testing in the steppe part of the Rostov region in 2020–2023. The estimation of ecological adaptability and stability of the varieties and lines was conducted according to the method of S. A. Eberhart, W. A. Russell as presented by V. A. Zykina; homeostatic indicator was identified according to V. V. Khangildin. There has been presented an estimation of varieties and lines according to their productivity, environmental stability, adaptability, and technological indicators of grain. There was found that the mean pro-

ductivity of the varieties and lines was 3.44 t/ha, varying over the years from 1.81 to 4.72 t/ha. The varieties 'Donskaya lazorevaya' and 'Volnodonskaya zolotistaya' formed the maximum mean productivity over the years with 3.52 and 3.58 t/ha. They were characterized by the greatest stability and adaptability, with a low coefficient of variation (3.6 and 2.4 %, respectively) and the greatest homeostaticity (42.37 and 67.06). There was found out that 'Volnodonskaya zolotistaya' was a variety that combined high indicators of adaptability, stability and homeostaticity ($b_i = 1.08$; $S_i^2 = 0.016$; $\text{Hom} = 42.37$). The variety 'Volnodonskaya' and the lines 'Gord.4699/19', 'Gord.4924/20' and 'Gord.4465/21' were characterized by full compliance of the productivity level with changes in cultivation conditions with a regression coefficient $b_i \leq 1$. The line 'Gord.4699/19' was characterized by the greatest stability in productivity ($S_i^2 = 0.007$). The regression coefficient (b_i) was 0.93, homeostaticity was 67.06, which also indicated its high ecological adaptability. In terms of protein percentage in grain, almost all varieties and lines met the requirements of the 1st class of GOST 9353-2016. Gluten content varied from 20.0 to 25.5 % (the 2–4 class). According to the comprehensive estimation of productivity and grain quality, and adaptability parameters in the conditions of the steppe part of the Rostov region, there have been identified the varieties 'Donskaya lazorevaya', 'Volnodonskaya zolotistaya' and the line 'Gord.4699/19', recommended for breeding for productivity and grain quality.

Keywords: spring durum wheat, adaptability, plasticity, stability, homeostaticity.

Введение. Твердая пшеница в мире ежегодно выращивается на площади 17,0 млн га. Валовый объем ее производства составляет около 30–35 млн т в год. Среднегодовое производство зерна этой культуры в России – около 600–800 тыс. т, что составляет менее 2 % от общемирового производства (Богдан, 2023). По данным Национального союза селекционеров и семеноводов России (НССиС) площади, занимаемые яровой твердой пшеницей в Ростовской области, в 2020 г. составляли 10 тыс. га, валовой сбор – 18 тыс. т зерна. С развитием темпа роста предприятий по выпуску макаронных изделий и в связи с увеличивающейся потребностью в зерне твердой пшеницы в целом по стране возрастает необходимость увеличения ее производства в основных районах выращивания (Спиридонов и др., 2017).

На получение высокого урожая и качества зерна твердой пшеницы влияют такие факторы, как почвенная засуха, засоление, поражаемость болезнями и вредителями, недостаточная сумма эффективных температур за вегетационный период (Ляпунова и Андреева, 2020). Увеличение потенциала урожая пшеницы – фундаментально важная задача в селекционных программах. Высокая и стабильная урожайность может быть достигнута при сочетании в генотипе высокой потенциальной продуктивности и устойчивости к неблагоприятным экологическим факторам (Зыкин и др., 2000). Для сельскохозяйственного производства важно подобрать сорта, стабильные по урожайности и пригодные для возделывания в различных почвенно-климатических условиях региона. В благоприятных условиях преимущество следует отдавать сортам с высокой потенциальной продуктивностью, тогда как в неблагоприятных и экстремальных последняя должна сочетаться с достаточно высокой экологической устойчивостью (Жученко и Урсул, 1983). Сущность и механизм экологической пластичности приобретают первостепенное значение в реализации селекционных программ. Большое значение экологической пластичности придавали в своих исследованиях многие ведущие селекционеры (Сапега и Турсумбекова, 2020; Петров, 2020; Мальчиков и др., 2018; Богдан и др., 2023; Галушко и Соколенко, 2022; Рыбась и др., 2023).

Важнейшие задачи селекции заключаются в создании и внедрении в производство новых высокоурожайных, устойчивых к стрессовым условиям среды и с высоким качеством зерна сортов, адаптированных к условиям данного региона. Целью этой работы было оценить экологическую пластичность, стабильность и технологические показатели зерна сортов и новых линий яровой твердой пшеницы, созданных в ФГБНУ ФРАНЦ, выявить дальнейшую перспективу в селекции этой культуры в условиях степной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Экспериментальную работу проводили в течение 2020–2023 гг. в северо-западной сельскохозяйственной зоне Ростовской области ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр». Почва – чернозем среднетяжелый южный карбонатный. Предшественник – просо. Климат региона умеренно континентальный засушливый.

В полевых опытах изучали четыре сорта и три линии яровой твердой пшеницы, высевавшихся в конкурсном сортоиспытании в течение 2020–2023 годов. В качестве стандарта использовали сорт Донская элегия. Агротехника проведения опыта общепринятая для северо-западной зоны Ростовской области. Площадь делянки 15,0 м², повторность 4-кратная, расположение делянок систематическое со смещением. Норма высева – 4,5 млн всхожих семян/га. Полевые исследования проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

В лабораторных условиях проводили биохимическую и технологическую оценку зерна: определяли натурную массу (ГОСТ 10840-2017), массу 1000 зерен (ГОСТ 12042-80), стекловидность (ГОСТ 10987-76), количество и качество клейковины (ГОСТ Р 54478-2011). Содержание белка в зерне определяли в фазу полной спелости на анализаторе зерна «INFRATEK 1241», определение числа падения – на автоматическом приборе фирмы «Falling Number 1400» (Швеция) по методу Хагберга–Пертена. Содержание каротиноидов определяли путем экстрагирования водонасыщенным бутанолом и последующим определением оптической плотности экстракта. При обработке данных использовали дисперсионный и вариационный методы.

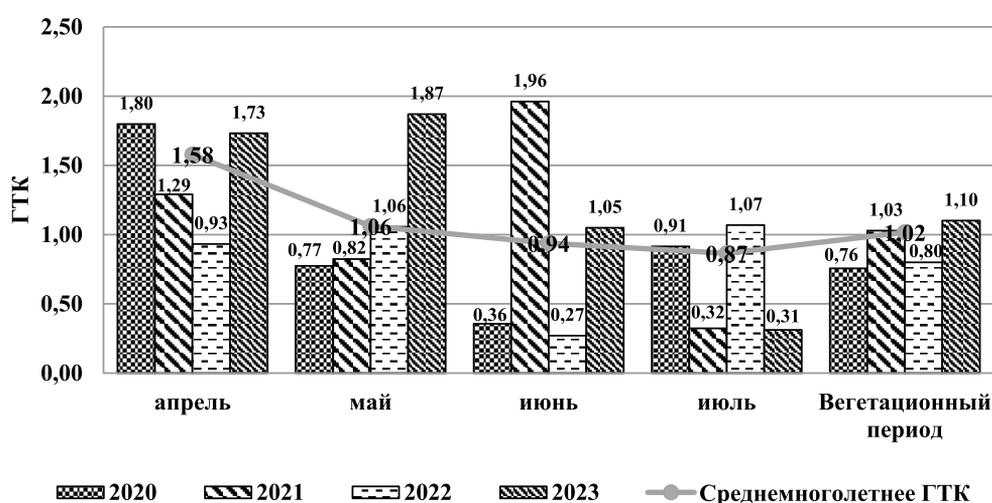
ционный анализ по Б.А. Доспехову (Доспехов, 2014), использовали программу статистической обработки данных «Excel 2007».

Для анализа адаптивного потенциала сортов и линий яровой пшеницы применяли методы, позволяющие оценить их пластичность и стабильность в условиях степной зоны Ростовской области: по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина (Зыкин и др., 2008) определены индекс условий среды, коэффициенты стабильности (S_i^2) и экологической пластичности (b_i); по методике В. В. Хангильдина (Хангильдин и Литвиненко, 1981) – показатель гомеостатичности (Hom).

Метеорологические условия за годы исследований в период вегетации яровой твердой пшеницы были контрастными. Это позволи-

ло оценить сорта и новые линии на адаптивность и устойчивость к стрессовым факторам. Оценку влагообеспеченности территории в годы исследований проводили по методике Г. Т. Селянинова. Разнообразие метеорологических условий 2020–2023 гг. по количеству осадков и температурному режиму способствовало полной и объективной оценке исследуемых сортов и линий яровой твердой пшеницы.

Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период за годы исследований варьировал от 0,76 (засушливо) в 2020 г. до 1,10 (недостаточное увлажнение) в 2023 г. (см. рисунок). Несколько иная картина наблюдалась по фазам развития растений по годам: ГТК был в пределах от 0,27 (экстремально засушливо) в 2022 г. до 1,96 (избыточно влажно) в 2021 году.



Уровень влагообеспеченности вегетационного периода яровой твердой пшеницы (2020–2023 гг.)
Moisture availability level during vegetation period of spring durum wheat (2020–2023)

Благоприятные условия для реализации потенциала продуктивности яровой твердой пшеницы сложились в 2023 году. Большое количество осадков в апреле, мае и июне в периоды от всходов и до колошения (ГТК 1,05–1,87) оказали позитивное влияние на закладку генеративных органов, на рост вегетативной массы растений яровой пшеницы. Период налива зерна и увеличение его массы проходили при высоких температурах воздуха и недостатке влаги в почве (ГТК 0,31), что способствовало быстрому созреванию зерна яровой пшеницы.

Метеорологические условия в 2020 г. были неблагоприятными для роста и развития растений яровой пшеницы. Фазы формирования зерновки и налива зерна характеризовались недостатком увлажнения и высокой температурой воздуха. Значение ГТК в этот период варьировало от 0,36 до 0,82 (очень засушливо).

В 2021 г. сложились относительно благоприятные условия для роста и развития

яровой пшеницы. Период формирования зерновки проходил при хорошем уровне влагообеспеченности (ГТК = 1,96), но недостаток влаги во второй период вегетации в фазу налива зерна (ГТК = 0,32) привел к снижению урожайности.

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия в годы исследований отличались нестабильностью в период вегетации, имели значительные различия и характеризовались как благоприятные, так и острозасушливые. Наиболее благоприятные погодные условия сложились в 2022 и в 2023 гг., индекс условий среды (I_i) составил 0,84, худшие условия отмечены в 2020 и в 2021 гг. ($I_i = -1,35; -0,33$). Средняя урожайность составила соответственно по годам 2,09; 3,10; 4,27 и 4,28 т/га (табл. 1). Разнообразные погодные условия позволили получить наиболее полную оценку по реакции сортов на изменение внешних факторов среды.

Таблица 1. Урожайность, экологическая пластичность и гомеостатичность сортов и линий яровой твердой пшеницы (2020–2023 гг.)

Table 1. Productivity, ecological adaptability and homeostaticity spring durum wheat varieties and lines (2020–2023)

Сорт, линия	Урожайность, т/га					C _v , %	b _i	S _i ²	Hom
	год испытания								
	2020	2021	2022	2023	среднее				
Донская элегия, st	1,81	3,34	4,23	4,21	3,40	7,27	1,06	0,061	19,31
Вольнодонская	2,05*	3,12	4,06	3,98	3,30	3,10	0,89	0,011	52,94
Донская лазоревая (Горд. 4193/17)	2,19*	2,89	4,72	4,27	3,52	9,01	1,09	0,101	15,42
Вольнодонская золотистая (Горд. 4685/19)	2,20*	3,08	4,46*	4,57*	3,58	3,56	1,08	0,016	42,37
Горд. 4699/19	2,12*	3,16	4,11	4,24	3,41	2,40	0,93	0,007	67,06
Горд. 4924/20	1,95	3,67*	3,92	4,36	3,48	13,66	0,93	0,225	10,56
Горд. 4465/21	2,32*	2,47	4,41	4,31	3,38	14,20	1,01	0,230	11,38
Среднее	2,09	3,10	4,27	4,28	3,44	–	–	–	–
НСР ₀₀₅	0,23	0,25	0,22	0,30	–	–	–	–	–
l _j	-1,35	-0,33	0,84	0,84	–	–	–	–	–

Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Для оценки адаптивного потенциала сортов и линий яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Ростовской области определяли экологическую характеристику каждого генотипа. Признак, который учитывали при расчетах, – урожайность. Согласно методике S. A. Eberchart и W. A. Russel к показателям пластичности относят коэффициент линейной регрессии (b_i), который характеризует способность сорта отзываться на улучшение условий выращивания повышением продуктивности (Зыкин и др., 2008).

Среди изучаемого материала к сортам интенсивного типа следует отнести Донскую элегию (b_i = 1,06; S_i² = 0,061), Донскую лазоревую (Горд. 4193/17) (b_i = 1,09; S_i² = 0,101) и Вольнодонскую золотистую (Горд. 4685/19) (b_i = 1,08; S_i² = 0,016) (табл. 1). Урожайность у этих сортов и линий за годы исследований варьировала от 1,81 до 4,72 т/га.

Сорт Донская элегия изучали в экологическом сортоиспытании в условиях Юго-Востока ЦЧЗ (2013–2016 гг.) и в ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.Н. Чайки» в 2017–2021 гг. (Малокостова, 2019; Богдан и др., 2023). Он зарекомендовал себя как экологически пластичный сорт с высоким адаптивным потенциалом, имеющий стабильную урожайность. Донская элегия – сорт-стандарт по 6-му (Северо-Кавказскому) региону возделывания.

По результатам исследований в ФГБНУ ФРАНЦ он является сортом, сочетающим в себе высокие показатели пластичности и стабильности (b_i = 1,06; S_i² = 0,061). По элементам структуры урожая Донская элегия характеризовалась большим количеством зерен в колосе (18,4 шт.) и имела высокий индекс урожая (31,4 %) (табл. 2).

Таблица 2. Структура урожая сортов и линий яровой твердой пшеницы (2021–2023 гг.)

Table 2. Yield structure of the spring durum wheat varieties and lines (2021–2023)

Сорт, линия	Продуктивная кустистость, стебл./раст.	Масса зерна с 1 растения, г	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Индекс урожая, %
Донская элегия, st	1,2	1,04	18,4	38,8	31,4
Вольнодонская	2,1*	1,07	13,8	38,6	30,7
Донская лазоревая (Горд. 4193/17)	1,4	0,90	18,8	37,4	30,2
Вольнодонская золотистая (4685/19)	1,3	1,03	20,0	43,5*	32,8
Горд. 4699/19	1,7*	1,28	19,2	39,3	30,3
Горд. 4924/20	1,6*	1,03	16,6	38,6	30,3
Горд. 4465/21	1,7*	1,14	17,6	39,7	33,0
НСР ₀₀₅	0,20	0,26	2,6	2,15	2,35

Примечание. * – достоверно на 5 %-м уровне значимости.

У Горд. 4685/19 из представленного набора сортов и линий за четыре года испытаний была наибольшая урожайность в среднем по годам (3,58 т/га) и превысила стандарт на 0,18 т/га. Она создана в результате внутри- и межвидовой гибридизации с участием сортов отечественной селекции Вольнодонская, Новодонская, Степь 3, Тарасовская остистая и зарубежной –

Giorgio и Харьковская 7 с последующим индивидуальным отбором форм.

По результатам исследований она является линией, сочетающей в себе все три изучаемых признака: высокие показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности (b_i = 1,08; S_i² = 0,016; Hom = 42,37). По элементам структуры урожая линия Горд. 4685/19 ха-

рактировалась большим количеством зерен в колосе, чем у стандарта (20,0 и 18,4 шт. соответственно) и имела более высокий индекс урожая (32,8 % против 31,4 у стандарта). От представленных сортов и линий отличалась крупным зерном (масса 1000 зерен – 43,5 г), высокой озерненностью колоса и индексом урожая (табл. 2). В 2023 г. эта линия была передана на Госсортоиспытание под названием Вольнодонская золотистая.

Как и в предыдущие годы исследований, одним из лидеров по урожайности была линия Горд. 4193/17 (Кадушкина и др., 2020), которая была передана на Госсортоиспытание в 2022 г. под названием Донская лазоревая.

Средняя урожайность сорта Донская лазоревая в 2020–2023 гг. (в конкурсном сортоиспытании) в условиях Северного Дона составила 3,52 т/га (+0,12 т/га к стандарту Донская элегия) (табл. 1). Высокая урожайность у сорта Донская лазоревая была обусловлена большей, чем у стандарта, продуктивной кустистостью (1,4 против 1,20), количеством зерен в колосе (18,8 шт.), массой зерна с 1 растения (0,90 г) (табл. 2).

Исследования показали, что у сорта Вольнодонская и линий Горд. 4699/19, Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21 отмечено полное соответствие уровня урожайности изменению условий возделывания при коэффициенте регрессии $b_i \leq 1$. Они характеризовались достаточно высокой урожайностью, но слабой реакцией на улучшение условий среды и способны в жестких условиях формировать более высокий и качественный урожай зерна. Эти генотипы, несомненно, представляли определенный селекционный интерес. Отмечено, что при неблагоприятных условиях они меньше снижали показатели продуктивности, чем сорта интенсивного типа. Они характеризовались достаточно высокими показателями экологической пластичности ($b_i = 0,89; 0,93; 0,93$ и $1,01$ соответственно).

Наиболее стабильными по урожайности из этих генотипов были Вольнодонская и Горд. 4699/19 ($S_i^2 = 0,011$ и $0,007$ соответ-

ственно). Они имели наивысшую из представленных сортов гомеостатичность ($Hom = 52,94$ и $67,06$) и самый низкий коэффициент вариации (3,1 и 2,4). Эти два показателя в совокупности показывают устойчивость признака при изменении устойчивости среды. Они отражают способность генотипа свести к минимуму последствия неблагоприятных воздействий внешней среды в процессе формирования продуктивности. По структуре урожайности линия Горд. 4699/19 отличалась от других генотипов высокими показателями продуктивной кустистости (1,7 против 1,2 у стандарта), массой зерна с одного растения (1,28 г), массой 1000 зерен (39,3 г) и количеством зерен в колосе (19,2 шт.).

Урожайность у линий Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21 варьировала от 1,95 до 4,36 т/га и в среднем составила 3,48 и 3,38 т/га, превысив стандарт на 0,08 и 0,04 т/га соответственно. Эти линии имели высокий показатель экологической пластичности, но у них была отмечена большая вариабельность урожайности (13,66 и 14,2 % соответственно) и меньшая гомеостатичность – 10,56 и 11,38, что свидетельствует о нестабильности данных генотипов при возделывании в условиях степной зоны Ростовской области. По показателям структуры урожая линия Горд. 4465/21 характеризовалась высоким соотношением массы зерна с 1 м² к массе соломы (индекс урожая – 33,0 %), крупным зерном (масса 1000 зерен – 39,7 г) и высокой массой зерна с одного растения (1,14 г).

Из-за биологических особенностей яровой твердой пшеницы высококачественное зерно можно получить не во всех регионах России, характеризующихся различными почвенно-климатическими условиями. Для выяснения качества у представленных генотипов была проведена технологическая и биохимическая оценка.

По содержанию белка в зерне все сорта и линии отвечали требованиям 1-го класса ГОСТ 9353-2016, кроме линии Горд. 4465/21 (2-й класс). Содержание клейковины варьировало в пределах от 20,0 до 25,5 % (2–4-й класс) (табл. 3).

Таблица 3. Технологические и биохимические показатели сортов и линий яровой твердой пшеницы (2020–2023 гг.)
Table 3. Technological and biochemical indices of the spring durum wheat varieties and lines (2020–2023)

Показатель	Сорт						
	Донская элегия, st	Вольнодонская	Донская лазоревая (Горд. 4193/17)	Вольнодонская золотистая (4685/19)	Горд. 4699/19	Горд. 4924/20	Горд. 4465/21
Натура, г/л	790	815	790	800	805	805	810
Стекловидность, %	92,8	96,5	91,3	81,5	92,5	88,5	96,0
Содержание белка в зерне, %	14,1	14,6	14,0	13,8	14,5	14,1	13,4
Содержание клейковины в зерне, %	23,1	25,5	24,2	21,9	25,0	22,6	20,0
Содержание каротиноидов, мкг %	295	374	295	388	316	350	323
Число падения, с	432	469	413	487	469	422	457

Примечание. $НСР_{05}$ – содержание белка – 0,35 %, содержание клейковины – 1,1 %.

По показателю натуры зерна наибольшую имели сорт Вольнодонская и линия Горд. 4465/21 – 815 и 810 г/л соответственно (у стандарта 790 г/л). Вольнодонская в среднем за 2020–2023 гг. отличалась высокостекловидным зерном с содержанием белка 14,6 % и клейковины 25,5 %.

Линия Горд. 4699/19 также характеризовалась высоким содержанием белка в зерне, соответствующим 1-му классу, и клейковины 2-го класса (14,5 и 25,0 % соответственно).

Высокое содержание каротиноидов выявлено у сортов Вольнодонская, Вольнодонская золотистая и линии Горд. 4924/20 (350–388 мкг%, у стандарта 295 мкг%).

Устойчивостью к прорастанию зерна на корню характеризовались все изученные сорта и линии. Наибольшей устойчивостью отличались сорта Вольнодонская, Вольнодонская золотистая, и линии Горд. 4699/19, Горд. 4465/21. Число падения у них составляло 457–487 с (у стандарта 432 с).

Полученные данные подтверждают возможность получения высококачественного зерна яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Ростовской области.

Выводы. В результате проведенных исследований отмечено значительное влияние условий выращивания на урожайность яровой твердой пшеницы. Донская элегия является сортом, сочетающим в себе высокие показатели пластичности и стабильности ($b_1 = 1,06$; $S_1^2 = 0,061$). Вольнодонская золотистая – сорт, который сочетал в себе высокие показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности ($b_1 = 1,08$; $S_1^2 = 0,016$; $\text{Ном} = 42,37$). К генотипам с высокой экологической пластичностью относились также Вольнодонская, Горд. 4699/19, Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21, у которых отмечено полное соответствие уровня урожайности изменению условий возделывания при коэффициенте регрессии $b_1 \leq 1$. Это генотипы экстенсивного типа. Наиболее стабильной по урожайности из представленных линий была Горд. 4699/19 ($S_1^2 = 0,007$). Она имела наивысшую из представленных генотипов гомеостатичность

($\text{Ном} = 67,06$) и самый низкий коэффициент вариации (2,4). Высокие показатели качества зерна отмечены у сорта Вольнодонская и линий Горд 4699/19, Горд. 4465/21. По содержанию белка в зерне все изученные сорта и линии отвечали требованиям 1 и 2-го класса ГОСТ 9353-2016. Содержание клейковины варьировало в пределах от 20,0 до 25,5 % (2–4-й класс). Полученные данные по оценке параметров адаптивности позволили отобрать генотипы, которые формируют стабильный урожай зерна с единицы площади для условий степной зоны Ростовской области. Высокий адаптивный потенциал выявлен у сортов Донская лазоревая, Вольнодонская золотистая и у линии Горд 4699/19. Они способны формировать стабильно высокий уровень урожайности в различных климатических условиях.

По оценке экспертов, к 2025 г. потребление макаронных изделий в России возрастет до 1,5 млн тонн. Рост потребления макаронных изделий обусловлен их высокими потребительскими свойствами, вкусовыми достоинствами, питательностью и простотой приготовления. Данная продукция удобна и тем, что может сохранять свои качества длительное время (по ГОСТ Р 51865-2002 в течение 24 месяцев) без ощутимого ухудшения вкуса или питательных веществ. В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция перехода на здоровое и диетическое питание. В связи с этим возросла покупательская способность высококачественных продуктов – мультизерновых хлебных изделий и круп, макаронных изделий группы А и др. Поэтому со стороны макаронной промышленности наблюдается повышение спроса на высококачественное зерно (Михайлова и др., 2023). Следовательно, выведение новых сортов яровой твердой пшеницы, способных сохранять высокий уровень урожайности в неблагоприятных условиях среды и имеющих высококачественное зерно, является очень актуальным направлением в возделывании этой культуры. Выделенные сорта и линии рекомендуются для селекции на продуктивность и качество зерна.

Библиографические ссылки

1. Богдан П. М., Клыков А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Адаптивность сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Северо-Кавказского региона // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и дополн. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Жученко А., Урсул А. Стратегия адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства: Роль науки в повышении эффективности растениеводства. Кишинев: Штиинца, 1983. 304 с.
5. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методики расчета экологической пластичности сельскохозяйственных растений по дисциплине «Экологическая генетика». Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2008. 37 с.
6. Кадушкина В. П., Грабовец А. И., Коваленко С. А. Экологическая пластичность и продуктивность сортов и линий яровой твердой пшеницы в условиях Дона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4(84). С. 34–38.
7. Ляпунова О.А., Андреева А.С. Сорта и линии, пополнившие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181(1), С. 7–16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16

8. Малокостова, Е. И. Результаты изучения экологической адаптивности и стабильности сортов яровой твердой пшеницы в условиях Юго-Востока ЦЧЗ // Вестник Уральской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 66–69. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42
9. Мальчиков П. Н., Розова М. А., Моргунов А. И., Мясникова М. Г., Зеленский Ю. И. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) из России и Казахстана // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 8. С. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436
10. Михайлова О. П., Сулейменова С. Б., Ефименко Д. В. Перспективы возделывания твердой пшеницы в России // Исследования молодых ученых: материалы LIX Международной науч. конф. (г. Казань, апрель 2023 г.). Казань: Молодой ученый, 2023. С. 35–41.
11. Петров, Л. К. Оценка урожайности, экологической стабильности и пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Нижегородской области // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 3. С. 6–9. DOI: 10.31857/S2500262720030023
12. Рыбась И. А., Иванисов М. М., Марченко Д. М., Киринов А. В., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Ивженко Н. А. Оценка параметров адаптивности сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73
13. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и яровой твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 2. С. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
14. Спиридонов Ю. Я., Будынков Н. И., Бойко А. П., Стрижков Н. И., Критская Е. Е. Технология возделывания яровой твердой пшеницы с применением препаратов Секатор турбо, Баритон, Фалькон, Нагро и других. // Аграрный научный журнал. 2017. № 3. С. 30–36.
15. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. Одесса, 1981. Вып. 1 (39). С. 8–14.
16. Экология пшеницы: монография / В. А. Зыкин, В. П. Шаманин, И. А. Белан. Омск: ОмГАУ, 2000. 124 с.

References

1. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuz'menko N. V. Adaptivnyi potentsial yarovoi tvrdoj pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) v usloviyakh Primorskogo kraja [Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) in the Primorsky Krai] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2023. T. 184, № 1. S. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Galushko N. A., Sokolenko N. I. Adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy, vozdeleyvaemykh v usloviyakh Severo-Kavkazskogo regiona [Adaptability of winter wheat varieties cultivated in the North Caucasus region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 5. S. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50
3. 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 dopoln. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
4. Zhuchenko A., Ursul A. Strategiya adaptivnoi intensivatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: Rol' nauki v povyshenii effektivnosti rastenievodstva [Strategy for adaptive intensification of agricultural production: The role of science in increasing crop production efficiency]. Kishinev: Shtiintsa, 1983. 304 s.
5. Zysin V. A., Belan I. A., Yusov V. S., Korneva S. P. Metodiki rascheta ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii po distsipline «Ekologicheskaya genetika» [Methods for calculating the ecological adaptability of agricultural plants in the discipline "Ecological Genetics"]. Omsk: Izd-vo FGOU VPO OmGAU, 2008. 37 s.
6. Kadushkina V. P., Grabovets A. I., Kovalenko S. A. Ekologicheskaya plastichnost' i produktivnost' sortov i liniy yarovoi tvrdoj pshenitsy v usloviyakh Dona [Ecological adaptability and productivity of spring durum wheat varieties and lines in the Don area] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 4(84). S. 34–38.
7. Lyapunova O.A., Andreeva A.S. Sorta i linii, popolnivshie genofond tvrdoj pshenitsy VIR v 2000–2019 gg. [Varieties and lines that replenished the durum wheat gene pool of VIR in 2000–2019] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2020. T. 181(1), S. 7–16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16
8. Malokostova, E. I. Rezul'taty izucheniya ekologicheskoi adaptivnosti i stabil'nosti sortov yarovoi tvrdoj pshenitsy v usloviyakh Yugo-Vostoka TsChZ [Study results of the ecological adaptability and stability of spring durum wheat varieties in the South-East of the Central Blackearth Zone] // Vestnik Ural'skoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2019. № 4. S. 66–69. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42
9. Mal'chikov P.N., Rozova M.A., Morgunov A.I., Myasnikova M.G., Zelenskii Yu.I. Velichina i stabil'nost' urozhainosti sovremennogo selektsionnogo materiala yarovoi tvrdoj pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) iz Rossii i Kazakhstana [The magnitude and stability of productivity of modern breeding material of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Russia and Kazakhstan] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2018. T. 22, № 8. S. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436
10. Mikhailova O. P., Suleimenova S. B., Efimenko D. V. Perspektivy vozdeleyvaniya tvrdoj pshenitsy v Rossii [Prospects for durum wheat cultivation in Russia] // Issledovaniya molodykh uchennykh: materialy LIX Mezhdunar. nauch. konf. (g. Kazan', aprel' 2023 g.). Kazan': Molodoi uchenyi, 2023. S. 35–41.
11. Petrov, L. K. Otsenka urozhainosti, ekologicheskoi stabil'nosti i plastichnosti sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti [Estimation of productivity, environmental stability, and adaptability of winter wheat varieties in the Nizhny Novgorod region] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2020. № 3. S. 6–9. DOI: 10.31857/S2500262720030023

12. Rybas' I. A., Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kirin A. V., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu., Ivzhenko N. A. Otsenka parametrov adaptivnosti sortov ozimoi pshenitsy v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Estimation of adaptability parameters of winter wheat varieties in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73

13. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Urozhainost', ekologicheskaya plastichnost' i stabil'nost' sortov yarovoi myagkoi i yarovoi tverdoi pshenitsy v yuzhnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti [Productivity, ecological adaptability, and stability of spring common and durum wheat varieties in the southern forest-steppe of the Tyumen region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. T. 21, № 2. S. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123

14. Spiridonov Yu. Ya., Budynkov N. I., Boiko A. P., Strizhkov N. I., Kritskaya E. E. Tekhnologiya vozdeleyvaniya yarovoi tverdoi pshenitsy s primeneniem preparatov Sekator turbo, Bariton, Fal'kon, Nagro i drugikh [Technology of spring durum wheat cultivation using the preparations 'Sekator Turbo', 'Bariton', 'Falcon', 'Nagro' and others] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2017. № 3. S. 30–36.

15. Khangil'din V. V., Litvinenko N. A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties] // Byulleten' Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta. Odessa, 1981. Vyp. 1(39). S. 8–14.

16. Ekologiya pshenitsy: monografiya [Ecology of wheat: Monograph] / V. A. Zykin, V. P. Shamanin, I. A. Belan. Omsk: OmGAU, 2000. 124 s.

Поступила: 06.05.24; доработана после рецензирования: 25.07.24; принята к публикации: 29.07.24.

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. Кадушкина В. П. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Фоменко М. А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Коваленко С. А. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Бирюкова О. В. – выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТЫХ СТЕРИЛЬНЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ – РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ

А. Г. Горбачева¹, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела первичного и элитного семеноводства, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

Г. Я. Кривошеев², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

А. С. Игнатъев², кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

Н. А. Орлянская³, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-9456-6640

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы», 357528, г. Пятигорск, ул. Ермолова, д. 14-Б; e-mail: 976067@mail.ru;

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

³Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы,

396835, Воронежская обл., Хохольский р-н, п. Опытной станции ВНИИК; e-mail: vf-nauka@yandex.ru

В статье представлены результаты испытания в 2020–2022 гг. десяти родительских форм гибридов кукурузы в трех пунктах, различающихся по влагообеспеченности и другим условиям произрастания: ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы (ФГБНУ ВНИИ кукурузы), Ставропольский край, Воронежский филиал ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института кукурузы (Воронежский филиал ВНИИК), Воронежская область и ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (АНЦ «Донской»), Ростовская область. Цель исследования – изучение новых стерильных простых гибридов кукурузы – родительских форм в различных почвенно-климатических зонах, выделение перспективных для конкретных условий, выявление зависимости урожайности зерна от высоты растений для оптимизации селекционного процесса. По влагообеспеченности и температурному режиму погодные условия во ВНИИ кукурузы и Воронежском филиале характеризовались как благоприятные, а в АНЦ «Донской» – неблагоприятные для роста и развития растений кукурузы. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа урожая зерна установлено, что в общей дисперсии во всех пунктах наибольшая доля влияния принадлежит взаимодействию факторов «генотип×условия» (59,0, 70,4 и 48,6 % соответственно). Выделены родительские формы: ИК 4310-53 С, Аврора С, ПГ 11, формирующие максимальную урожайность зерна (5,9–7,4 т/га) в условиях почвенно-климатической зоны Воронежской области, во ВНИИ кукурузы максимальная урожайность зерна получена у родительских форм ИК 4310-53 С (5,9 т/га) и ПГ 11 (6,6 т/га). В засушливых условиях АНЦ «Донской» выделились: ССК 53 – 277 М, ИК 4310-53 С, ПГ 11, перспективные для использования в данном регионе в качестве родительских форм. Они характеризовались наименьшим снижением урожайности зерна (37,3–50,0 %) по сравнению с влагообеспеченным пунктами, наибольшими абсолютными значениями урожайности (3,0–3,7 т/га). Во всех пунктах экологического испытания выявлена корреляционная связь между урожайностью зерна и высотой растения ($r = 0,72–0,88$). Простые стерильные гибриды с высоким рангом по урожайности, как правило, имели высокие ранги по высоте. Отбор родительских форм по высоте растений позволил выделить более урожайные формы.

Ключевые слова: родительские формы кукурузы, урожай зерна, высота растений, доля влияния факторов, корреляционная зависимость.

Для цитирования: Горбачева А. Г., Кривошеев Г. Я., Игнатъев А. С., Орлянская Н. А. Экологическое изучение простых стерильных гибридов кукурузы – родительских форм // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 105–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-105-112.



ECOLOGICAL STUDY OF PARENTAL FORMS OF SIMPLE STERILE MAIZE HYBRIDS

A. G. Gorbacheva¹, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of primary and basic seed production, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

G. Ya. Krivosheev², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

A. S. Ignatiev², Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

N. A. Orlyanskaya³, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-9456-6640;

¹FSBSI “All-Russian Research Institute of Maize”, 357528, Pyatigorsk, Ermolaev Str., 14-B; e-mail: 976067@mail.ru;

²FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchnyy Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

³A Voronezh branch of the FSBSI ARRSI of Corn, 396835, Voronezh region, Khokholsky district, v. of Opytnoy stantsii VNIIC; e-mail: vf-nauka@yandex.ru

The current paper has presented the results of 2020–2022 testing carried out with ten parental forms of maize hybrids in such three locations, differing in moisture availability and other growing conditions as FSBSI “All-Russian Research Institute of Maize” (Stavropolsky Krai), the Voronezh branch of the FSBSI ARRSI of Corn (the Voronezh Region) and the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy” (Rostov region). The purpose of the work was to study parental forms of new sterile simple maize hybrids in various soil and climatic zones, to identify promising ones for specific conditions, to identify correlations for optimizing the breeding process. In terms of moisture availability and temperature regime, weather conditions at the ARRI of Maize and the Voronezh branch were characterized as favorable, while at the ARC “Donskoy” they were unfavorable for the growth and development of maize plants. According to the results of a two-factor analysis-of-variance of grain yield, there was established that in the total variance at all points, the largest share of influence belongs to the interaction of the factors “genotype × conditions” (59.0 %, 70.4 %, 48.6 %, respectively). There were identified the parental forms ‘IK 4310-53 S’, ‘Aurora S’, ‘PG 11’, which formed the maximum grain productivity (5.97.4 t/ha) in the conditions of the soil and climatic zone of the Voronezh region; at the ARRI of Maize the maximum grain productivity was obtained from the parental forms ‘IK 4310-53 S’ (5.9 t/ha) and ‘PG 11’ (6.6 t/ha). In arid conditions of the ARC “Donskoy” there were identified the forms ‘SSK 53-277 M’, ‘IK 4310-53 S’, ‘PG 11’, promising for use here as parental forms. They were characterized with the smallest decrease in grain productivity (37.3–50.0 %), compared to moisture-supplied locations, with the highest absolute productivity values (3.0–3.7 t/ha). At all locations of the environmental testing, there was found a correlation between grain productivity and plant height ($r = 0.72–0.88$). Simple sterile hybrids with a high productivity rank, as a rule, had high ranks in height. Selection of parental forms according to plant height made it possible to select more productive forms.

Keywords: parental forms of maize, grain productivity, plant height, share of influence of factors, correlation.

Введение. Кукуруза, обладая рядом ценных хозяйственных свойств, имеет большое значение в стабилизации продовольственной базы страны. Решение вопросов по импорто-замещению ориентирует производящие зерно хозяйства на использование семян гибридов отечественной селекции вместо импортных (Кузнецова и др., 2020).

Важным условием для успешной селекции является подбор адаптивных родительских форм, достаточно полно использующих агроклиматические ресурсы, обладающих комплексной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, вредителям и болезням. Подбор исходного материала направлен на эффективную реализацию генетического потенциала родительских форм кукурузы в условиях региона (Горбачева и др., 2022; Кривошеев и др., 2016).

О необходимости эффективного отбора исходного материала для создания гибридов кукурузы различного хозяйственного использования, адаптированного к стрессовым условиям различных зон, заявляют и зарубежные исследователи (Fadhli et al., 2020; Lou et al., 2020; Zhao et al., 2019; Раденович и др., 2015).

В селекции нельзя обойтись без определения корреляционных связей. Их выявление направляет внимание селекционера на отыскание причинной связи между признаками и свойствами. Постоянно повторяющиеся эмпирические корреляции создают базу для прогноза, упрощают отбор, ускоряют и удешевляют селекционный процесс (Вавилов, 1966). Ряд исследователей отмечают, что наиболее ценны корреляции, в основе которых лежит биологическая связь между признаками, так как они более постоянны. Однако корреляции динамичны и зависят от влияния внешней среды. Такое явление позволяет селекционерам успешно находить разрывы в отрицательных связях с целью их преодоления. Большое значение для селекционной практики имеет изучение вопросов передачи наиболее важных хозяйственно-биологических признаков родительских форм гибриднему потомству. Создание

и отбор высокопродуктивных самоопыленных линий предполагает и создание на их основе более урожайных гибридов (Шиманский и др., 2017).

Высота растений – один из наиболее важных морфологических признаков, коррелятивно связанный с другими показателями: высотой заложения початков, облиственностью, полегаемостью, продуктивностью и т.д. Кроме того, высота растений имеет важное значение при индустриальной технологии возделывания кукурузы, при подборе пар на участке гибридизации. Нередко высота растений гибридов в значительной степени зависит от высоты растений родительских форм. Выявлены высокие положительные средние и тесные корреляционные связи между высотой растений и урожаем зерна (Гудова, 2020, Гудова и др., 2021; Перченко и Сергеева, 2021; Кривошеев и Игнатъев, 2018).

Учитывая важность признака «высота растений» для родительских форм гибридов кукурузы, представляет интерес изучение зависимости урожайности зерна от высоты растений в разных почвенно-климатических условиях. Еще более важно знать, как будут вести себя родительские формы в тех условиях, где их планируется использовать на участках гибридизации.

Цель исследования – изучение новых стерильных простых гибридов кукурузы – родительских форм в различных почвенно-климатических зонах, выделение перспективных для конкретных условий, выявление зависимости урожайности зерна от высоты растений для оптимизации селекционного процесса.

Материалы и методы исследований. В 2020–2022 гг. на опытных полях ФГБНУ ВНИИ кукурузы (ВНИИК) Ставропольского края, Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИК Воронежской области, ФГБНУ АНЦ «Донской» Ростовской области в изучении находились 10 родительских форм – простых гибридов кукурузы, созданных в селекционных программах ВНИИ кукурузы. Опыты закладывали на двухрядковых делянках с учетной площа-

дью 7,84 м² в трех повторениях. Гибриды оценивали по урожайности зерна и высоте растений.

Метеорологические условия в пунктах проведения исследований значительно различались (рис. 1).

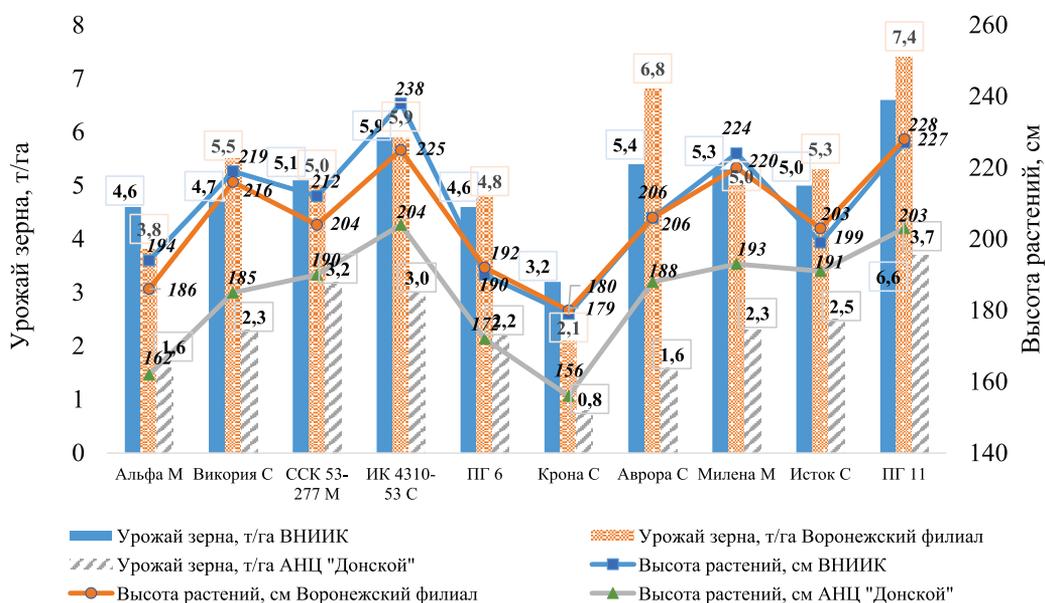


Рис. 1. Метеорологические данные в пунктах изучения (2020–2022 гг.)
 Fig. 1. Weather data at the locations of testing (2020–2022)

В среднем за три года (2020–2022) за период вегетации (май–сентябрь) во ВНИИ кукурузы выпало 338 мм осадков, в Воронежском филиале – 249 мм, в АНЦ «Донской» – 220 мм осадков. При этом наибольшее количество осадков по пунктам выпало в мае–июле, 266,1; 164,4 и 152,5 мм соответственно. Лидером по количеству осадков в этот период оказался ВНИИ кукурузы. В августе в Воронежском филиале выпало всего 12,0 мм осадков, во ВНИИ кукурузы – 26,0 мм, в АНЦ «Донской» – 47,7 мм. Сентябрь оказался влажным (72,9 мм) в Воронежском филиале.

Среднесуточные температуры воздуха в июне–сентябре в АНЦ «Донской» были на 2–4 °С выше по сравнению с другими пунктами. В мае и сентябре явный дефицит тепла, на 2,5–6,5 °С, отмечен в Воронежском филиале. В целом, учитывая влагообеспеченность и температурный режим, метеосостояние во ВНИИ кукурузы и Воронежском филиале характеризуется как благоприятные, а в АНЦ «Донской» – неблагоприятные для роста и развития растений кукурузы.

Почвенный покров предгорной зоны Ставропольского края представлен богатыми карбонатными и выщелоченными чер-

ноземами. Почвы Воронежского филиала представлены черноземом выщелоченным среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на покровной карбонатной глине. В АНЦ «Донской» почва проведения эксперимента – чернозем обыкновенный.

Для определения показателей «взаимодействие генотип×среда» и доли влияния фактора провели математическую обработку экспериментальных данных методом двухфакторного дисперсионного анализа в программе AGROS-2-09. Корреляционный анализ выполняли по Доспехову (2014). Гибриды ранжировали в каждом пункте испытания по средней высоте растений и средней урожайности зерна. Самый высокий ранг отмечен у гибридов с наибольшей высотой и урожайностью зерна.

Результаты и их обсуждение. По результатам дисперсионного анализа урожая зерна установлено, что в общей дисперсии во всех пунктах наибольшая доля влияния принадлежит взаимодействию факторов «генотип × условия» (ВНИИ кукурузы – 59,0 %, Воронежский филиал ВНИИК – 70,4 %, АНЦ «Донской» – 48,6 %). Доля влияния генотипа составила по пунктам испытания 34,5, 26,7 и 40,7 % соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа испытания стерильных простых гибридов кукурузы по урожаю зерна по пунктам исследования (2020–2022 гг.)
 Table 1. Results of analysis-of-variance of testing sterile simple maize hybrids according to grain productivity and locations of testing (2020–2023)

Источник варьирования	ВНИИК		Воронежский филиал		АНЦ «Донской»	
	НСР ₀₅	доля влияния факторов	НСР ₀₅	доля влияния факторов	НСР ₀₅	доля влияния факторов
Гибриды (А)	0,27	34,5	0,32	26,7	0,33	40,7
Год (В)	0,15	1,8	–	0,5	0,18	3,3
Взаимодействие (АВ)	0,46	59,0	0,56	70,4	0,57	48,6
Остаток	–	5,1	–	2,4	–	7,4

Математическая обработка экспериментальных данных методом двухфакторного дисперсионного анализа позволила определить показатель «взаимодействие генотип × среда» и долю влияния этого фактора на признак

«высота растений» (ВНИИ кукурузы – 63,4 %, Воронежский филиал ВНИИК – 44,4 %, АНЦ «Донской» – 41,6 %). Доля влияния генотипа составила по пунктам испытания 29,8, 52,8 и 52,7 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа испытания стерильных простых гибридов кукурузы по высоте растений по пунктам исследования (2020–2022 гг.)
Table 2. Results of analysis-of-variance of testing sterile simple maize hybrids according to plant height and locations of testing (2020–2023)

Источник варьирования	ВНИИК		Воронежский филиал		АНЦ «Донской»	
	НСР ₀₅	доля влияния факторов	НСР ₀₅	доля влияния факторов	НСР ₀₅	доля влияния факторов
Гибриды (А)	5,91	29,8	6,01	52,8	4,22	52,7
Год (В)	–	0,1	3,31	0,9	2,31	3,8
Взаимодействие (АВ)	10,24	63,4	10,47	44,4	7,3	41,6
Остаток	–	6,3	–	1,9	–	1,9

Экспериментальные данные, представленные на рисунке 2, наглядно демонстрируют влияние природных условий зоны выращивания

на продуктивность и высоту растений родительских форм.

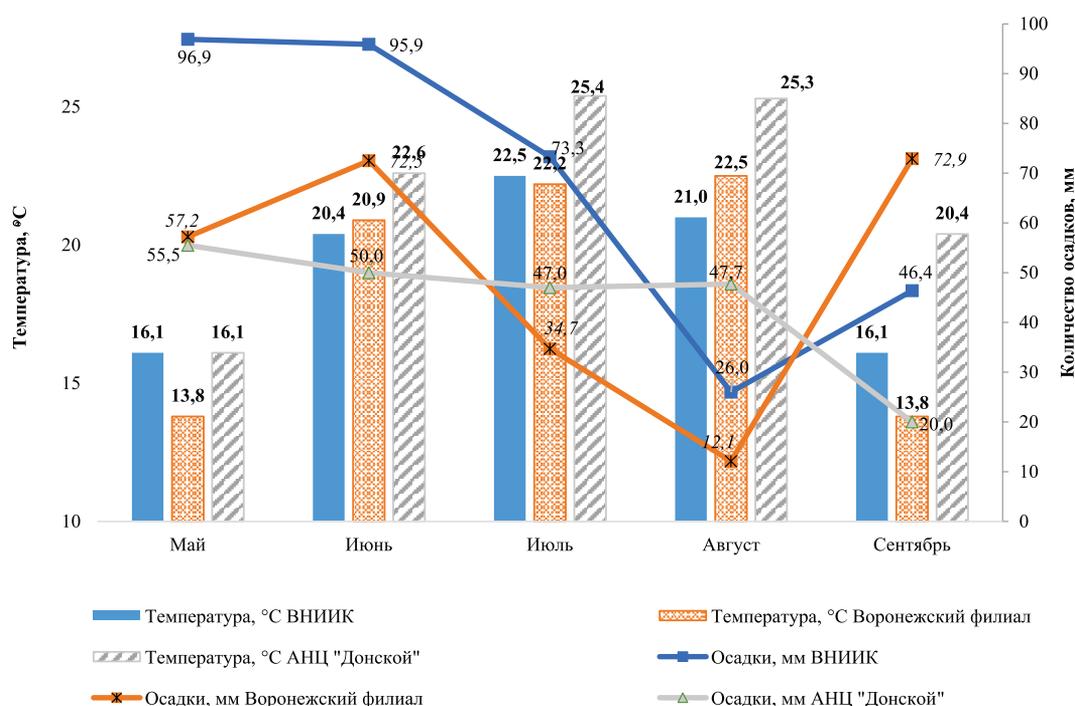


Рис. 2. Урожай зерна и высота растений простых стерильных гибридов кукурузы (2020–2022 гг.)
Fig. 2. Grain productivity and plant height of simple sterile maize hybrids (2020–2023)

Самую низкую урожайность зерна все простые гибриды сформировали в засушливых условиях АНЦ «Донской» – 0,8–3,7 т/га, в данном регионе растения отличались наименьшей высотой: 156–204 см. Более высокая урожайность зерна получена в пункте испытания ВНИИ кукурузы (3,0 – 6,6 т/га) и Воронежском филиале (2,1–7,4 т/га). Однако реакция родительских форм на условия выращивания была специфична, одни из них отличались самой высокой урожайностью зерна в пункте экологического испытания ВНИИ кукурузы, другие – в Воронежском филиале. Так, простые гибриды Альфа М (4,6 т/га), ССК 53-277 М (5,1 т/га), Крона С (3,2 т/га), Милена М (5,3 т/га) имели

выше урожайность зерна во ВНИИ кукурузы. Гибриды Виктория С (5,5 т/га), Аврора С (6,8 т/га), Исток С (5,3 т/га), ПГ 11 (7,4 т/га) максимальную урожайность зерна сформировали в Воронежском филиале. Гибрид ИК 43-10-53 С (5,9 т/га) не отличался по урожайности в обоих пунктах. Подобная реакция на условия выращивания получена и по высоте растений кукурузы. Самыми высокими во ВНИИ кукурузы были растения родительских форм Альфа М (194 см), Виктория (219 см), ССК 53 – 277 М (212 см), ИК 43-10-53 С (238 см), Милена М (224 см). В Воронежском филиале большую высоту растений имели гибриды ПГ6 (192 см), Исток С (203 см), ПГ 11 (227 см). Равноценные

по высоте в обоих пунктах были растения гибрида Аврора С (206 см).

Полученные результаты позволяют утверждать, что подбор родительских форм для участков гибридизации должен проводиться с учетом их реакции на конкретные условия выращивания. В почвенно-климатических зонах, где расположены ВНИИ кукурузы и Воронежский филиал, большинство родительских форм имели высокую урожайность зерна, что позволит иметь высокий выход семян с участков гибридизации. Выделены родительские формы ИК 43-10-35С, Аврора С, ПГ 11, формирующие максимальный урожай

зерна (5,9–7,4 т/га) в условиях почвенно-климатической зоны Воронежского филиала, во ВНИИ кукурузы максимальная урожайность получена у родительских форм ИК 43-10-53 С (5,9 т/га), ПГ 11 (6,6 т/га).

В АНЦ «Донской» наиболее продуктивными оказались гибриды ИК 41-10-53 (3,0 т/га), ССК 53-277 М (3,2 т/га), ПГ 11 (3,7 т/га). Примечательно, что эти же гибриды характеризовались наименьшим снижением урожайности зерна в засушливых условиях АНЦ «Донской» (37,3–50,0 %) по сравнению с максимальным урожаем, полученным в других пунктах экологического испытания (табл. 3).

Таблица 3. Снижение урожайности зерна и высоты растений у родительских форм гибридов кукурузы (2020–2022 гг.)
Table 3. Decrease in grain productivity and plant height in parental forms of maize hybrids (2020–2023)

№ п/п	Название	Снижение, %	
		урожайности зерна	высоты растений
1	Альфа М	65,3	16,6
2	Викория С	58,2	15,6
3	ССК 53-277 М	37,3	10,4
4	ИК 4310-53 С	49,2	14,3
5	ПГ 6	54,2	10,4
6	Крона С	75,0	13,3
7	Аврора С	76,5	8,7
8	Милена М	56,6	13,8
9	Исток С	52,8	5,9
10	ПГ 11	50,0	16,6

Минимальным снижением урожая зерна (37,3 %) отличался простой стерильный гибрид ССК 53-277 М, что позволяет утверждать о лучшей его засухоустойчивости, адаптивности к условиям дефицита влаги и перспективности использования в качестве родительской формы на участках гибридизации в почвенно-климатических условиях АНЦ «Донской». Следует отметить, что снижение высоты растений у него было незначительным (10,4 %). Наибольшее снижение продуктивности в засушливых условиях происходило у родительских форм Крона С (75,0 %) и Аврора С (76,5 %) при самых низких абсолютных значениях урожайности зерна (0,8 и 1,6 т/га соответственно). Использовать их в качестве материнских форм на участках гибридизации в условиях АНЦ «Донской» нецелесообразно.

Снижение высоты растений не всегда происходило пропорционально снижению урожайности зерна. Так, например, при большом снижении урожайности зерна (на 65,3 %) у стерильного гибрида Альфа М снижение высоты было максимальным (16,6 %), а у гибрида Аврора С, наоборот, при сильном снижении продуктивности (76,5 %) снижение высоты растений (8,7 %) оказалось одним из самых меньших.

Абсолютные значения урожайности зерна зависели от абсолютных значений высоты растений во всех пунктах испытания. Ранжирование родительских форм по высоте растений во всех пунктах позволило выявить совпадение рангов по урожайности и высоте (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность зерна и высота растений стерильных простых гибридов кукурузы с указанием рангов (2020–2022 гг.)
Table 4. Grain productivity and plant height of sterile simple maize hybrids with their ranks (2020–2022)

№ п/п	Название	Урожайность зерна, т/га						Высота растений, см					
		1		2		3		1		2		3	
			ранг		ранг		ранг		ранг		ранг		ранг
1	Альфа М	4,6	8	3,8	9	1,6	9	194	8	186	9	162	9
2	Викория С	4,7	9	5,5	4	2,3	6	219	4	216	4	185	7
3	ССК 53-277 М	5,1	5	5,0	7	3,2	2	212	5	204	7	190	5
4	ИК 4310-53 С	5,9	2	5,9	3	3,0	3	238	1	225	2	204	1
5	ПГ 6	4,6	7	4,8	8	2,2	7	190	9	192	8	172	8
6	Крона С	3,2	10	2,1	10	0,8	10	179	10	180	10	156	10

Продолжение табл. 4

№ п/п	Название	Урожайность зерна, т/га						Высота растений, см					
		1		2		3		1		2		3	
			ранг		ранг		ранг		ранг		ранг		ранг
7	Аврора С	5,4	3	6,8	2	1,6	8	206	6	206	5	188	6
8	Милена М	5,3	4	5,0	6	2,3	5	224	3	220	3	193	3
9	Исток С	5,0	6	5,3	5	2,5	4	199	7	203	6	191	4
10	ПГ 11	6,6	1	7,4	1	3,7	1	227	2	228	1	203	2

Примечание. 1 – ВНИИ кукурузы; 2 – Воронежский филиал ВНИИ кукурузы; 3 – АНЦ «Донской»

Так, простой гибрид ПГ 11 с самым высоким во всех пунктах рангом (1) по продуктивности имел и самые высокие ранги по высоте растений (1, 2). Родительская форма Крона С с низким рангом во всех пунктах по продуктивности (10) имела во всех пунктах и низкий ранг (10) по высоте растений. Простой стерильный гибрид Альфа М характеризовался низкими рангами как по продуктивности (8, 9), так и по высоте растений (8, 9). То же самое наблюдалось и по гибриду ПГ 6: 7, 8 и 8, 9 соответственно. По некоторым гибридам отмечались боль-

шие различия, так, по гибриду Аврора С ранги по урожайности составили 2–8, по высоте – 5, 6. Однако в целом тенденция увеличения урожайности родительских форм с увеличением высоты растений сохранялась.

Корреляционный анализ по продуктивности, полученный в трех пунктах отдельно по трем годам испытания (2020–2022), позволил выявить тесную корреляционную зависимость урожайности зерна простых стерильных гибридов – родительских форм от высоты растений ($r = 0,72–0,88$) (табл. 5).

Таблица 5. Коэффициенты корреляции между урожаем зерна и высотой растений простых гибридов кукурузы (2020–2022 гг.)
Table 5. Correlation coefficients between grain productivity and plant height of simple maize hybrids (2020–2022)

Год	Коэффициент корреляции		
	ВНИИ кукурузы	Воронежский филиал	АНЦ «Донской»
2020	0,74	0,72	0,81
2021	0,78	0,88	0,73
2022	0,84	0,65	0,77

В восьми случаях из девяти коэффициент корреляции был выше 0,70 и только в Воронежском филиале в 2022 г. был незначительно ниже ($r = 0,65$).

Полученные результаты являются доказательством того, что отбор родительских форм по высоте растений позволяет выделить наиболее продуктивные формы. Отбор по высоте растений технически значительно проще, чем по урожайности. Браковка низкорослых форм на ранних этапах позволит повысить эффективность селекционного процесса.

Одна из высокорослых (219 см) форм (ПГ 11) оказалась самой продуктивной (5,9 т/га в среднем по пунктам испытания). Самая высокорослая форма ИК 41-10-53 С (223 см) в среднем по трем пунктам изучения заняла второе место по урожайности (5,9 т/га). В то же время родительская форма Крона С с минимальной высотой (172 см) характеризовалась наименьшей урожайностью зерна по всем пунктам изучения (2,0 т/га).

Выводы. Простые стерильные гибриды кукурузы – родительские формы характеризуются специфической реакцией на различные почвенно-климатические условия выращивания. Минимальной урожайностью зерна (0,8–3,7 т/га) и высотой растений (156–204 см) все изученные формы отличались в наиболее засушливом пункте экологического испыта-

ния – АНЦ «Донской». Максимальную урожайность и высоту растений родительские формы имели в более благоприятных условиях ВНИИ кукурузы и Воронежского филиала.

Выделены родительские формы ИК 43-10-35С, Аврора С, ПГ 11, формирующие максимальную урожайность зерна (5,9–7,4 т/га) в условиях почвенно-климатической зоны Воронежского филиала, во ВНИИ кукурузы максимальная урожайность получена у родительских форм ИК 43-10-53 С (5,9 т/га), ПГ 11 (6,6 т/га).

В засушливых условиях АНЦ «Донской» выделены простые гибриды для использования в качестве родительских форм: ИК 43-10-53С, ССК 53-277 М. Они характеризовались наименьшим снижением урожайности зерна (37,5–50,0%) по сравнению с влагообеспеченными пунктами (ВНИИ кукурузы, Воронежский филиал) и наибольшими абсолютными значениями урожайности (3,0–3,7 т/га).

Выявлена тесная корреляционная связь между урожайностью зерна и высотой растений ($r = 0,72–0,88$). Простые стерильные гибриды с высокими рангами по урожайности зерна, как правило, имели более высокие ранги по высоте растений. Отбор родительских форм по высоте растений позволил выделить более урожайные формы.

Библиографические ссылки

1. Вавилов, Н. И. Избранные сочинения. Генетика и селекция. М.: Колос, 1966. 559 с.
2. Горбачева А. Г., Орлянская Н. А., Ветошкина И. А. Оценка исходного материала линий кукурузы по основным хозяйственно ценным признакам в различных условиях среды // АПК России. 2022. Т. 29, № 5. С. 577–583. DOI: 10.55934/10.55934/2587-8824-2022-29-5-577-583
3. Гудова, Л. А. Кластерный анализ хозяйственно ценных признаков гибридов кукурузы в условиях Саратовского Правобережья // Аграрный научный журнал. 2020. № 6. С. 14–20. DOI: 10.28983/asj.y2020i6pp14-20
4. Гудова Л. А., Зайцев С. А., Жужукин В. И., Курасова Л. Г. Использование методов многомерной статистики для оценки модельной популяции кукурузы // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp9-15
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А. Реакция интродуцированного исходного материала на засушливые условия // Зерновое хозяйство России. 2016. № 6. С. 35–38.
7. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Оптимизация параметров количественных признаков гибридов кукурузы зернового использования // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5(59). С. 35–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-35-39
8. Кузнецова Н. А., Королькова А. П., Заводило О. В., Ильина А. В. Проблемы эффективности импортозамещения на российском агрорынке семян сельскохозяйственных культур // Вестник СГСЭУ. 2020. № 2(81). С. 49–55.
9. Перченко Н. А., Сергеева О. Н. Испытания ультраскороспелых гибридов кукурузы французской селекции для производства зерна в условиях Томской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2. С. 27–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-27-33
10. Раденович Ч., Делич Н., Сечански М., Йованович Ж., Станкович Г., Опович А. Инбредные линии и гибриды кукурузы (ZEA MAYS L.) сербской селекции с высокой эффективностью фотосинтеза, обогащенным пигментным составом и повышенной питательной ценностью // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50, № 5. С. 600–610. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.600rus
11. Шиманский Л. П., Кравцов В. И., Говор Т. М. Корреляционные связи у самоопыленных линий кукурузы // Земледелие и селекция в Беларуси. 2017. № 53. С. 362–368.
12. Fadhli N. U. R., Farid M. U. H., Effendi R. O. Y., Azrai M., Anshori M. F. Multivariate analysis to determine secondary characters in selecting adaptive hybrid corn lines under drought stress // Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 2020. Vol. 21, № 8. DOI: 10.13057/biodiv/d210826
13. Lou F., Li X.-D., Shang Y.-S., Wu J.-H., Zhang R., Gan X.-B., Xiong J., Chen G.-J., Li S.-G., Pei C.-J. Selection of suitable silage maize varieties in the Bijie region based on yield, agronomic and nutritional evaluation Acta Prataculturae Sinica. 2020. Vol. 29, P 214–224. DOI: 10.11686/cyb2019485
14. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // Genes. 2019. Vol. 10(6), Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445

References

1. Vavilov, N. I. Izbrannye sochineniya. Genetika i selektsiya [Selected works. Genetics and breeding]. M.: Kolos, 1966. 559 s.
2. Gorbacheva A. G., Orlyanskaya N. A., Vetoshkina I. A. Otsenka iskhodnogo materiala linii kukuruzy po osnovnym khozyaistvenno-tsennym priznakam v razlichnykh usloviyakh sredy [Estimation of the initial material of maize lines according to the main economically valuable traits in various environmental conditions] // APK Rossii. 2022. T. 29, № 5. S. 577–583. DOI: 10.55934/10.55934/2587-8824-2022-29-5-577-583
3. Gudova, L. A. Klasternyi analiz khozyaistvenno-tsennyykh priznakov gibridov kukuruzy v usloviyakh Saratovskogo Pravoberezh'ya [Cluster analysis of economically valuable traits of maize hybrids in the conditions of the Saratov Pravoberezhie] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 6. S. 14–20. DOI: 10.28983/asj.y2020i6pp14-20
4. Gudova L. A., Zaitsev S. A., Zhuzhukin V. I., Kurasova L. G. Ispol'zovanie metodov mnogomernoi statistiki dlya otsenki model'noi populyatsii kukuruzy [Using multivariate statistics methods to estimate a model maize population] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2021. № 7. S. 9–15. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp9-15
5. 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.: Al'yans, 2014. 351 s.
6. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A. Reaktsiya introdutsirovannogo iskhodnogo materiala na zasushlivye usloviya [Response of introduced initial material to arid conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 6. S. 35–38.
7. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Optimizatsiya parametrov kolichestvennykh priznakov gibridov kukuruzy zernovogo ispol'zovaniya [Optimization of parameters of quantitative traits of maize hybrids for grain use] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 5(59). S. 35–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-35-39
8. Kuznetsova N. A., Korol'kova A. P., Zavadilo O. V., Il'ina A. V. Problemy effektivnosti importozameshcheniya na rossiiskom agrorynke semyan sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Problems of import substitution efficiency in the Russian agricultural market of grain crop seeds] // Vestnik SGEU. 2020. № 2(81). S. 49–55.

9. Perchenko N. A., Sergeeva O. N. Ispytaniya ul'traskorospelykh gibridov kukuruzy frantsuzskoi selektsii dlya proizvodstva zerna v usloviyakh Tomskoi oblasti [Testing ultra-early maturing maize hybrids of French breeding for grain production in the Tomsk region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 2. S. 27–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-27-33

10. Radenovich Ch., Delich N., Sechanski M., Iovanovich Zh., Stankovich G., Opovich A. Inbrednye linii i gibridy kukuruzy (ZEA MAYS L.) serbskoi selektsii s vysokoi effektivnost'yu fotosinteza, obogashchennym pigmentnym sostavom i povyshennoi pitatel'noi tsennost'yu [Inbred maize lines and hybrids (ZEA MAYS L.) of Serbian breeding with high photosynthesis efficiency, enriched pigment composition and increased nutritional value] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2015. T. 50, № 5. S. 600–610. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.600rus

11. Shimanskii L. P., Kravtsov V. I., Govor T. M. Korrelyatsionnye svyazi u samoopylennykh linii kukuruzy [Correlations in self-pollinated maize lines] // Zemledelie i selektsiya v Belarusi. 2017. № 53. S. 362–368.

12. Fadhli N. U. R., Farid M. U. H., Effendi R. O. Y., Azrai M., Anshori M. F. Multivariate analysis to determine secondary characters in selecting adaptive hybrid corn lines under drought stress // Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 2020. Vol. 21, № 8. DOI: 10.13057/biodiv/d210826

13. Lou F., Li X.-D., Shang Y.-S., Wu J.-H., Zhang R., Gan X.-B., Xiong J., Chen G.-J., Li S.-G., Pei C.-J. Selection of suitable silage maize varieties in the Bijie region based on yield, agronomic and nutritional evaluation Acta Prataculturae Sinica. 2020. Vol. 29, P 214–224. DOI: 10.11686/cyb2019485

14. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // Genes. 2019. Vol. 10(6), Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445

Поступила: 08.07.24; доработана после рецензирования: 08.08.24; принята к публикации: 9.08.24.

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. Горбачева А. Г. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Кривошеев Г. Я. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Орлянская О. Н. – выполнение полевых опытов, сбор и математическая обработка данных; Игнатъев А. С. – выполнение полевых опытов и сбор данных, оформление статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.