
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
Т. 15, № 2. 2023 год

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

Калинина Н. В. – главный редактор (Зерноград, Россия);
Голубова В. А. – зам. главного редактора, канд. биол. н. (Зерноград, Россия);
Шарова С. Ю. – 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 УрФАНЦ 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);
Храмцов И. Ф. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, 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 н., 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. Агрономия, 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 – Скуйбеда О. Н.

Адрес издательства и редакции: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.
E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 00.05.2023
Дата выхода 28.02.2023. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ № 000
Отпечатано в ООО «Амирит». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA

V. 15, № 2. 2023

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

Kalinina N. V. – chief editor (Zernograd, Russia);
Golubova V. A. – deputy chief editor, Cand. Sci. (Biology) (Zernograd, Russia);
Sharova S. Y. – 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. Lukiyenko 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);
Zein 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. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture), professor,
academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A. M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), 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);
Khrantsov I. F., Omsk Agrarian Scientific Center – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Omsk, 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.

E-mail: zhros.don@yandex.ru

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 00.05.2023

The date of the issue is 28.02.2023. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No 000

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Ретроспектива селекции ячменя в ФГБНУ «АНЦ «Донской»	5
Шепелев С. С., Потоцкая И. В., Чурсин А. С., Моргунов А. И., Шаманин В. П. Маркер-ориентированная селекция яровой мягкой пшеницы на повышение урожайности, качества зерна, устойчивости к болезням и засухе в условиях Западной Сибири	18
Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н. З., Тазутдинова М. Р., Хусаинова И. И., Гайфуллина Г. Р., Кириллова Е. С., Идиатова Р. Х. Характеристика яровой шарозерной пшеницы сорта Сакара	26
Гайнуллина К. П., Румянцев С. Д., Давлетов Ф. А., Кулуев Б. Р. Анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена ABI3 у сортообразцов гороха с различным содержанием запасных белков семян	34
Кравченко Н. С., Игнатьева Н. Г., Алты-Садых Ю. Н., Васюшкина Н. Е., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П. Изучение хлебопекарных свойств сортов озимой твердой пшеницы	41
Акинина В. Н., Хомякова О. В., Дьячук Т. И., Жилин С. В., Барнашова Е. К., Калашникова Э. В., Куликова В. П. Оценка эффективности метода культуры пыльников <i>in vitro</i> для получения гаплоидных растений тритикале (<i>×Triticosecale</i> Wittmack)	50
Новоселова Н. В., Харина А. В., Бессолицына Е. А., Савинцева Л. С. Скрининг <i>Stb</i> -генов устойчивости к септориозу у сортов мягкой пшеницы	57
Родина Т. В., Асташов А. Н., Башинская О. С., Пронудин К. А. Скрининг коллекционных сортообразцов могоара по урожайности и биохимическому составу биомассы	63

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Бирюков К. Н., Грабовец А. И., Фоменко М. А., Бирюкова О. В., Ляшков И. В. Адаптивный потенциал сортов озимой пшеницы в контрастных условиях минерального питания на Среднем Дону	72
Конопля Н. И., Курдюкова О. Н. Сроки сева озимых культур в Донбассе в связи с изменением погодноклиматических условий	79
Шаповалова Н. Н., Володин А. Б., Менькина Е. А., Ахмедшина Д. А. Влияние последствия длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна сорго на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья	84
Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Копман И. К., Марченко Д. М., Фетюхин И. В. Особенности сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак при возделывании его по различным предшественникам и срокам посева	92
Магомедов Н. Р., Абдуллаев А. А., Абдуллаев Ж. Н., Бабаев Т. Т. Влияние органоминеральных удобрений и регулятора роста на посевы озимой твердой пшеницы в условиях орошения Терско-Сулакской подпровинции Дагестана	99
Дудкина Т. А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в севооборотах с разными видами пара и при различных уровнях удобрённости	107
Васильченко С. А., Метлина Г. В., Ашиев А. Р. Влияние сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность к уборке растений зимующего гороха в южной зоне Ростовской области	114

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Retrospective of barley breeding in the FSBSI "ARC "Donskoy"	5
Shepelev S. S., Pototskaya I. V., Chursin A. S., Morgunov A. I., Shamanin V. P. Marker assisted selection (MAS) of spring bread wheat to improve productivity, grain quality, resistance to diseases and drought in the conditions of Western Siberia	18
Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N. Z., Tazutdinova M. P., Khusainova I. I., Gaifullina G. R., Kirillova E. S., Idiatova R. Kh. Characteristics of the Indian dwarf wheat variety 'Sakara'	26
Gainullina K. P., Rumyantsev S. D., Davletov F. A., Kuluev B. R. Analysis of nucleotide sequences of the ABI3 gene coding region in pea varieties with different percentage of seed storage proteins	34
Kravchenko N. S., Ignatieva N. G., Alty-Sadykh Yu. N., Vasyushkina N. E., Samofalova N. E., Ilichkina N. P. Study of baking properties of the winter durum wheat varieties	41
Anikina V. N., Khomyakova O. V., Diyachuk T. I., Zhilin S. V., Barnashova E. K., Kalashnikova E. V., Kulikova V. P. Estimation of the efficiency of <i>in vitro</i> anther culture method for obtaining haploid triticale plants (<i>×Triticosecale wittmack</i>)	50
Novoselova N. V., Kharina A. V., Bessolitsina E. A., Savintseva L. S. Screening of <i>Stb</i> leaf blotch resistance genes of the common wheat varieties	57
Rodina T. V., Astashov A. N., Bashinskaya O. S., Pronudin K. A. Screening of the mogar collection samples according to productivity and biochemical composition of biomass	63

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT-BREEDING

Biryukov K. N., Grabovets A. I., Fomenko M. A., Biryukova O. V., Lyashkov I. V. Adaptive potential of winter wheat varieties under contrasting conditions of mineral nutrition in the middle Don	72
Konoplya N. I., Kurdyukova O. N. Sowing time of winter crops in the Donbass due to weather and climate changes	79
Shapovalova N. N., Volodin A. B., Men'kina E. A., Akhmedshina D. A. The influence of the aftereffect of long-term use of mineral fertilizers on sorghum grain productivity and quality on ordinary blackearth of the Central Pre-Caucasus	84
Popov A. S., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A., Kopman I. K., Marchenko D. M., Fetyukhin I. V. Features of the winter common wheat variety 'Zodiak' when cultivating it according to various forecrops and sowing time	92
Magomedov N. R., Abdullaev A. A., Abdullaev, Zh. N., Babaev T. T. Effect of organic mineral fertilizers and growth regulator on winter durum wheat crops under irrigation conditions in the Terek-Sulak subprovince of the republic of Dagestan	99
Dudkina T. A. Productivity and quality of winter wheat grain in crop rotations with different types of fallow and at different levels of fertilization	107
Vasilchenko S. A., Metlina G. V., Ashiev A. R. Effect of sowing time and seeding rates on field germination and harvesting preservation of wintering peas in the southern part of the Rostov region	114

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

90-летию со дня рождения одного из родоначальников современной селекции ячменя на Северном Кавказе Александра Андреевича Сокола посвящается.

*«Ячмени Дона таят в себе большие возможности...»
(В. З. Сергеев)*

УДК 633.161:631.52

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-5-17

РЕТРОСПЕКТИВА СЕЛЕКЦИИ ЯЧМЕНЯ В ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

Е. Г. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;

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

Д. П. Донцов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье даны краткий исторический экскурс и обзор научных исследований по селекции и семеноводству озимого и ярового ячменя в Федеральном Государственном Бюджетном Научном Учреждении «Аграрный научный центр «Донской». В Южный федеральный округ входят 8 субъектов РФ – это Севастополь, Республика Адыгея, Республика Калмыкия, Крым, Краснодарский край, Астраханская, Волгоградская и Ростовская области. Ячмень по посевным площадям здесь является основной зернофуражной культурой. Сельхозпроизводители Дона издавна проявляли интерес к этой ценной, многообразной по своему использованию культуре, весьма неприхотливой к условиям возделывания. Работы по селекции ячменя начаты в нашем учреждении в 1932 году и ведутся, с небольшими перерывами, по настоящее время. Исследования проводили по различным направлениям: селекция озимого, ярового и двуручки ячменя, семеноводство и технология их возделывания. В XXI веке сотрудниками отдела ячменя были разработаны новые инновационные направления в селекции ячменя: по озимому – создание двурядных пивоваренных сортов с высокими солодовенными показателями (сорт Рандеву) и по яровому – кормовых ячменей (зеленый корм), которые ранее в Госреестре РФ отсутствовали. По данному направлению был разработан и создан сорт Новик. В 2014 г. в отделе открыты новые направления – создание голозерных сортов ярового ячменя и безостых сортов озимого ячменя. С 2016 г. ведется активная работа по выявлению линий озимого ячменя, обладающих генетической устойчивостью к поражению сетчатым гельминтоспориозом. Совместно с Всероссийским НИИ радиологии и агроэкологии проведена оценка радиочувствительности сортов озимого и ярового ячменя с целью выявления сортов, устойчивых к проявлению стресс-факторов окружающей среды. На материалах исследований были успешно защищены 11 кандидатских и две докторских диссертации, опубликовано восемь монографий и более 400 научных статей.

Ключевые слова: ячмень, озимый, яровой, двуручка, сорт, селекция.

Для цитирования: Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Ретроспектива селекции ячменя в ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 5–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-5-17.



RETROSPECTIVE OF BARLEY BREEDING IN THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

E. G. Filippov, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, head of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;

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

D. P. Dontsov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The current paper has presented a historical excursion and an overview of scientific research on breeding and seed production of winter and spring barley in the Federal State Budgetary Scientific Institution Agricultural Research Center “Donskoy”. The Southern Federal District includes 8 subjects of the Russian Federation, namely Sevastopol; republics of Adygea, Kalmykia, Crimea; Krasnodar Territory, Astrakhan, Volgograd and Rostov regions. Barley is the main grain forage crop in terms of sown area. Don farmers have long shown interest in this valuable, diverse crop, very unpretentious to the cultivation conditions. Barley breeding work began in our institution in 1932 and is still ongoing, with short interruptions, to the present. Research was carried out in various areas: breeding of winter,

spring and facultative barley, seed production and technology of their cultivation. In the XXI-st century, the researchers of the barley department developed new innovative directions in barley breeding, there were developed two-row brewing varieties with high malting rates (the variety 'Randevu') in winter barley breeding and in spring barley breeding there were developed fodder barley (green fodder) varieties (the variety 'Novik'), which were previously absent in the State List of the Russian Federation. In 2014 there were opened new directions in the department, namely the development of hulles spring barley varieties and awnless winter barley varieties. Since 2016, there has been carried out an active work to identify winter barley lines that are genetically resistant to net blotch. Together with the All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology, there was carried out an estimation of the radiosensitivity of winter and spring barley varieties to identify varieties being resistant to the environmental stress factors. Based on research materials, there were successfully defended 11 candidate and two doctoral dissertations, there were published eight monographs and more than 400 scientific articles.

Keywords: *barley, winter, spring, facultative, variety, breeding.*

Введение. Среди зернофуражных культур ячмень прочно занял первое место за счет более короткого периода роста и развития и высокого уровня приспособленности к условиям мест произрастания, что позволяет возделывать его на всей территории Российской Федерации (Солонечный, 2017; Гудзенко, 2019). Использование этой культуры многообразно. Зерно ячменя содержит много белка, в том числе незаменимых аминокислот (лизин, триптофан и др.), и поэтому даже ячменная дерть является отличным концентрированным кормом (Темирбекова и др., 2019). Из ячменя изготавливают перловую, ячневую, плющеную крупу и хлопья. Муку используют для выпечки некоторых диетических сортов хлеба и кондитерских изделий. Зерно ячменя – это незаменимое сырье для пивоваренной и солодовенной промышленности. Зеленый корм из ячменя содержит в себе большое количество белка, углеводов, минеральных веществ, витаминов в легкоусвояемой форме и охотно поедается всеми группами сельскохозяйственных животных. Поэтому ячмень в смеси с бобовыми культурами возделывается для получения сенажа, зеленого корма и силоса. Солома и мякина ячменя, как и сено, являются одним из основных грубых кормов для жвачных животных (Филиппов и Алабушев, 2014; Филиппов и Донцова, 2014). Местные сорта озимого и ярового ячменя имеют большие возможности в повышении урожайности и стабилизации валовых сборов этой ценной культуры в Ростовской области. Необходимо также отметить важную особенность ярового ячменя как страховой культуры для подсева и пересева озимой пшеницы. В годы с массовой гибелью озимых культур его площади значительно возрастают. Это все говорит об исключительно большом значении культуры ячменя для сельского хозяйства и необходимости увеличения его производства (Сокол, 1985; Алабушев, 1992).

В связи с постоянством в проявлениях континентальности климата в Ростовской области, резкими перепадами температур и зачастую недостатком влаги (особенно в осенний период и в фазу налива зерна) первостепенным для зерновых колосовых культур является правильный подбор сортов. Такие сорта в местных непростых условиях могли бы благополучно произрастать, максимально реализовывать свой генетический потенциал и давать стабильные и высокие урожаи качественного зер-

на (Ерошенко и др., 2018; Грабовец и др., 2019; Иванисов и др., 2022).

Поэтому нашей главной целью и ранее, и в настоящее время является создание высокопластичных, адаптивных сортов с потенциальной урожайностью озимого ячменя до 10 т/га и ярового – до 7 т/га, имеющих высококачественные показатели зерна для использования не только как фуража, но и для производства зеленого корма, пива, крупы, мальц-экстрактов, диетического кофе и т. д.

Результаты и их обсуждение. Основным производителем ярового ячменя на Северном Кавказе как в прошлом, так и в настоящее время является Ростовская область, где сосредоточено в отдельные годы до 80 % его производства в регионе. Поэтому его состояние в области во многом характеризует и уровень этой культуры на Северном Кавказе (Алабушев, 1992).

Интенсивное возделывание данной культуры в Ростовской области (на тот момент Область Войска Донского) начинается с 1884 года. С этого момента и до 1910 г. земельный клин под яровым ячменем увеличился более чем в 6 раз (Сокол, 1985). Первым обратил внимание на этот феномен заведующий кафедрой земледелия Донского политехнического института (г. Новочеркасск) профессор А.И. Носатовский, который впервые провел глубокие исследования по ячменю на Северном Кавказе. По результатам этих исследований он отмечал, что без каких-либо принудительных мер, без пропаганды, почти без помощи научной агрономии ячмень в начале XX века значительно потеснил другие сельскохозяйственные культуры. На тот момент такого стремительного внедрения и распространения не знала ни одна культура не только в регионе, но и в стране. А.И. Носатовский отмечал, что у ячменя имеется больше ценного, чем у других сельскохозяйственных культур, и что «сама жизнь требует внимательного изучения этого растения, которое хотя и гонят в дверь, а оно все же лезет в окно» (Алабушев, 1992).

Селекционная работа с яровым ячменем на Ростовской областной опытной станции по полеводству начата в 1932 г. на селекционном материале, полученном из Донской, Ставропольской и Ейской станций. В переданном материале были собраны гибриды разных поколений, образцы местных ячменей и небольшое количество образцов Всесоюзного института растениеводства

(г. Ленинград). В 1937 г. наша организация была преобразована в Зерноградскую государственную селекционную станцию. В 1941 г. ее объединили с областной опытной станцией по полеводству, а в конце этого же года к ней присоединили и Ростовскую областную опытную станцию по животноводству. С 1941 по 1956 г. Ростовская государственная селекционная станция работала как комплексное научно-исследовательское учреждение с подчинением Главному управлению сельхознауки министерства сельского хозяйства вначале союзного, затем республиканского. В течение четырех лет (1952–1955) станция проводила научно-исследовательскую работу на орошаемом участке в Веселовском районе. До 1956 г. Зерноградская государственная селекционная станция имела в своем составе отдел селекции и семеноводства с пятью группами (озимой пшеницы, яровой пшеницы, ячменя, пропашных культур, кормовых трав), агротехники, животноводства, орошаемого земледелия, пропаганды и внедрения и лаборатории: агрохимии, защиты растений, физиологии растений, мукомольно-хлебопекарную группу и группу по производству элитных семян. С организацией Донского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства туда были переведены отделы орошаемого земледелия, животноводства, пропаганды и внедрения и лаборатория физиологии растений (Варламов, 1957).

Методами селекционной работы в те годы по яровому ячменю являлись гибридизация и непрерывный индивидуальный, групповой и массовый отборы. Гибридизацию проводили путем искусственного опыления перспективных, районированных и лучших сортов из мировой коллекции Всесоюзного института растениеводства. Для скрещивания подбирали наиболее урожайные в условиях Ростовской области сорта и формы, отличающиеся наименьшим количеством отрицательных признаков. Установлено, что для условий Ростовской области лучшими являлись ячмени из засушливых, континентальных стран (Эфиопии, Афганистана, Палестины, Эритреи, Марокко, Малой Азии), а также из засушливых районов Советского Союза. Они отличались ценными признаками: сравнительно высокой урожайностью, засухоустойчивостью, устойчивостью к головне, неполегаемостью, крупнозерностью и холодостойкостью. Образцы из стран с влажным, мягким климатом оказались непри-

годны для Ростовской области из-за полегаемости, недостаточной устойчивости к засухе и болезням.

В селекционном питомнике высевали лучшие линии, отобранные в питомнике исходного материала и в гибридном питомнике. Каждый образец высевался без повторений, стандарт – через 50 образцов. Контрольный питомник высевается в трехкратной повторности, стандарт – через два образца. Размер деланки – 10 м². В конкурсном сортоиспытании образцы высевали в четырехкратной повторности. Учетная деланка – 200 м². Стандарт – через 10 деланок. Уборку проводили самоходным комбайном.

Возглавлял селекционную работу по ячменю на станции в эти годы А. В. Соснин. В 1937 г. станцией в Государственное сортоиспытание было передано семь сортов ярового ячменя, которые давали урожай выше, чем районированный сорт Паллидум 43, на 10,0–13,7 %.

В этот период предпринимались первые попытки начать селекционную работу с озимым ячменем. В 1939 г. сотрудники Краснодарской государственной селекционной станции высевали в г. Зернограде 88 сортообразцов этой культуры.

Великая Отечественная война 1941–1945 гг. надолго задержала исследовательскую работу по селекции ярового и озимого ячменя. В годы войны почти весь материал был утерян, сохранилось лишь несколько пакетных образцов. После освобождения Зернограда (1943 г.) селекцию ячменя пришлось начинать заново: собирали коллекционный материал, размножали сохранившиеся образцы, в небольшом объеме проводили гибридизацию. До 1956 г. селекционной работой руководил А. А. Куц. В 1948 г. предпринимались попытки возобновить селекционную работу по озимому ячменю. В зиму 1950/1951 г. из 545 деланок озимого ячменя только на пяти сохранились единичные растения. Такая же участь постигла селекционные посевы и в 1955/1956 году. Осенью 1956 г. посев озимого ячменя вообще не проводили.

Изучение сорта ярового ячменя Ростовский 27 начато в конкурсном сортоиспытании с 1939 г., а районирован этот сорт только с 1954 г. для восточной зоны и для Обливского и Советского районов Ростовской области.

В таблице 1 представлены результаты конкурсного сортоиспытания сортов ярового ячменя за период с 1939 по 1953 годы.

В среднем за 14 лет урожай зерна ячменя сорта Ростовский 27 был равен 2,37 т/га.

Таблица 1. Результаты конкурсного сортоиспытания ярового ячменя за 1939–1953 гг.
Table 1. Results of the Competitive Variety Testing of spring barley in 1939–1953

Наименование сорта	Разновидность	Происхождение	Урожай зерна (т/га) по годам							
			1939	1940	1941	1943	1944	1945	1946	1947
Треби, st	Паллидум	США	2,65	4,61	1,42	1,73	2,27	1,52	1,45	2,37
Ростовский 27	Медикум	Ростовская ГСС	3,18	4,17	1,56	1,78	2,29	1,74	2,00	2,62
Ростовский 28	Медикум	Ростовская ГСС	3,06	4,65	2,14	1,37	3,16	1,93	1,66	2,64
Кубанец	Нутанс	Кубанская опытная станция ВИРа	–	–	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 1

Наименование сорта	Разновидность	Происхождение	Урожай зерна (т/га) по годам							
			1948	1949	1950	1951	1952	1953	Средняя	Отклонение от стандарта
Треби, st	Паллидум	США	1,95	1,07	2,08	2,94	3,84	1,46	2,24	–
Ростовский 27	Медикум	Ростовская ГСС	1,97	1,31	2,51	2,86	3,29	1,88	2,37	+0,13
Ростовский 28	Медикум	Ростовская ГСС	1,92	1,64	2,32	3,13	3,08	1,78	2,46	+0,22
Кубанец	Нутанс	Кубанская опытная станция ВИРа	1,69	1,11	2,36	3,02	3,44	1,76	2,23	0,01

Яровой ячмень Ростовский 27 был выведен методом индивидуального отбора из образца мировой коллекции ВИРа, поступившего из Аравии. Ботаническая разновидность – medicum. Отличается от других районированных сортов Ростовской области раннеспелостью и засухоустойчивостью. Сорт урожайный, с непоникающим колосом, зерно крупное, выравненное, вес 1000 зерен – 46–56 г, вегетационный период (от всходов до созревания) – 72–88 дней. Слабо поражался пыльной головней. Солома тонкая, склонная к полеганию, высота – 46–73 см. Сорт слабоосыпающийся, короткоколосый. В засушливые годы в период полной спелости колос находился почти во влагалище последнего листа. Ости легко обмолачивались при молотье. Благодаря невысокому стеблестию меньше, чем другие сорта, угнетал подпокровные травы. В 1959 г. посевная площадь под этим сортом составила 41 600 га.

С 1938 г. Зерноградская государственная селекционная станция также выращивала элитные семена для семенных участков райселекхозов Ростовской области согласно плану-заказу Ростовского областного управления сельского хозяйства. Станция стремилась вырастить семена не только высокой сортовой чистоты и хороших физических качеств, но и более высокоурожайные по сравнению с рядовыми.

В основу семеноводства было положено внутрисортное скрещивание, отбор наиболее урожайных и продуктивных растений и выращивание на высоком агрофоне. Семеноводство проводили по 4-ступенчатой схеме: 1) питомник обновления и отбора, 2) семенной питомник, 3) суперэлита, 4) элита. Первыми ступенями семеноводства до суперэлиты занимались селекционные группы. Сорта ячменя, по которым станция выращивала элитные семена в период 1938–1955 гг., показаны в таблице 2.

Таблица 2. Сорта ячменя, по которым проводилось семеноводство элитных семян (1938–1955 гг.)

Table 2. List of barley varieties which were used in seed production of basic seeds (1938–1955)

№ п/п	Сорт	Год работы
1	Паллидум 43	1938–1940
2	Треби	1938–1953
3	Местный 4-гранный	1940–1948
4	Кубанец	1948–1955
5	Донецкий 650	1954–1955
6	Ростовский 27*	1955

Примечание. * – сорт Зерноградской станции.

За 6 лет (1950–1955) средний урожай зерновых культур с элитных посевов составил 1,81 т/га. За эти же годы урожай зерновых культур по Мечетинскому району, в котором расположена станция, составил 0,95 т/га.

Выход кондиционных семян в среднем составлял от 57 до 72 % в зависимости от сорта и года.

С 1957 г. селекционную работу с ячменем возглавил кандидат сельскохозяйственных наук И. К. Котко. В связи с низкими, по его мнению, результатами селекция ярового ячменя по его настоянию в Ростовской области была закрыта с 1958 г. и продолжена селекция только озимого ячменя, которая находилась в зачаточном состоянии. В 1959 г. И. К. Котко перешел на другую работу, и начался новый этап в селекции ячменя на Дону, непосредственно связан-

ный с именем Александра Андреевича Сокола. Наш будущий селекционер родился в городе Ростов-на-Дону 19 марта 1933 года. Детство и юность его проходили в тяжелых условиях военного и послевоенного периодов. После окончания школы он поступил в Ростовский автодорожный техникум (1949–1953 гг.), после окончания которого по распределению работал начальником мастерских Кемеровской автобазы (1953–1955 гг.), затем автомехаником СМУ «Югмолстрой» (1955–1956 гг.). В 1956 г. судьба привела Сокола в Азово-Черноморский (ныне Донской) сельскохозяйственный институт, который он окончил с отличием в 1961 г., тогда же он был рекомендован для обучения в очной аспирантуре при кафедре растениеводства. Однако Сокол тяготел к живой селекционной работе, и поэтому был распределен

на Каменскую (ныне Северо-Донскую) опытную станцию Донского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства (п. Рассвет) в качестве старшего научного сотрудника лаборатории селекции озимой пшеницы и озимого ячменя. В 1962 г. Александр Андреевич был переведен в г. Зерноград по рекомендации И. Г. Калиненко на эту же должность, а в 1963 г. по конкурсу был избран заведующим лабораторией селекции озимого ячменя.

Работа с озимым ячменем находилась в начальной стадии. Это открыло молодому, пол-

ному творческих сил и честолюбия ученому широкий путь к научному творчеству в селекционной работе.

Фанатик своего дела, при решении поставленных задач Александр Андреевич проявил незаурядный талант, эрудицию, способность выделять из тысяч линий селекционного материала новые, более перспективные, превосходящие существующие.

В 1964 г. Сокол поступил в аспирантуру Всесоюзного селекционно-генетического института (г. Одесса) (рис. 1).



Рис. 1. Аспирант ВСГИ Сокол А.А., Одесса, 1967 год
Fig. 1. Postgraduate student of VSGI Sokol A.A., Odessa, 1967

В 1969 г. под руководством академика П.Ф.Гаркавого он успешно защитил диссертационную работу на собственном, вновь созданном селекционном материале на тему «Создание высокозимостойких сортов озимого ячменя для условий Нижнего Дона».

С 1967 г. была начата такая же работа и по яровому ячменю. Это было вызвано возросшей потребностью в зерне данной культуры для нужд животноводства, что обусловило увеличение площадей посева ярового ячменя в Ростовской области (с 754 тыс. га в 1955 г. до 1413 тыс. га в 1965 г.). Значительные площади и отсутствие хорошо приспособленных к местным почвенно-климатическим условиям сортов настоятельно требовали усиления селекционной работы с этой культурой. С пер-

вых шагов А.А.Сокол определил направление работы, большое внимание уделяя сбору и изучению исходного материала, выбору наиболее эффективных методов селекции и увеличению объема селекционного материала. Изучая реакцию сортов на изменение температурного и светового режимов за счет нескольких сроков посева коллекционного питомника, Александр Андреевич выявил ряд закономерностей и корреляционных зависимостей, позволяющих более целенаправленно вести селекционную работу с ячменем. Были определены оптимальные параметры будущих сортов, проведена селекция на засухоустойчивость и зимостойкость посредством отбора линий с двухъярусной корневой системой у ярового ячменя и глубоким залеганием узла кущения

у озимого ячменя. При выведении новых сортов особое внимание было обращено на сорта-двуручки.

В этот период (1962–2000 гг.) под руководством А. А. Сокола были проведены разработки ряда теоретических и практических положений.

1. Из мировой коллекции ВИР выделены новые источники многих хозяйственно полезных признаков озимого и ярового ячменя. Особую ценность представляли формы с выдающимся уровнем проявления отдельных морфологических свойств или их комплексом.

2. Усовершенствован способ опыления сортов ячменя при гибридизации.

3. Впервые в селекционной практике разработаны новые направления и созданы исходные глубокоузловые формы зимостойких сортов озимого ячменя и засухоустойчивых двухузловых форм ярового ячменя.

4. Выведены и переданы на Государственное сортоиспытание 13 сортов озимого и 23 сор-

та ярового ячменя. В различные годы были районированы и внесены в Государственный реестр селекционных достижений РФ четыре сорта озимого ячменя: Искра, Паллидум 198, Горизонт, Силуэт, Ростовский 55 и 9 сортов ярового ячменя: Зерноградский 73, Зерноградский 86, Зерноградский 244, Тан-1, Зерноградский 385, Маныч 459, Зерноградский 584, Задонский 8, Зерноградец 770, Зерноградский 813, Приазовский 9.

5. Разработана сортовая агротехника сортов ярового и озимого ячменя, созданных в селекционном центре.

Результаты этих исследований были изложены в виде 152 научных статей, 10 рекомендаций и книги – «Ячменное поле Дона» (1985).

Теоретические разработки и практические вопросы по селекции, семеноводству и агротехнике ячменя были обобщены в докторской диссертации, которую А. А. Сокол успешно защитил в 1990 году (рис. 2).



Рис. 2. Доктор с.-х. наук Сокол А. А., кандидат с.-х. наук Серебрянская В. П., Сокол Т. В., 1990 год

Fig. 2. Doctor of Agricultural Sciences Sokol A. A., Candidate of Agricultural Sciences Serebryanskaya V. P., Sokol T. V., 1990

Максимальная площадь посева под сортами ячменя зерноградской селекции, по данным Центрального статистического управления СССР, отмечалась в 1987 г. и составляла 1 млн 327 тыс. га.

А. А. Сокол многие годы являлся членом Бюро Российской академии сельскохозяйственных наук, секции зернофуражных культур. За период работы он был удостоен следующих наград: медаль «За доблестный труд» (1970), Ветеран труда (1985), орден «Знак почта» (1986), Почетное звание «Заслуженный

агроном России». Также отмечен Бронзовой (1967), Серебряной (1986) и Золотой (1984) медалями ВДНХ СССР.

С 2000 г. отдел возглавил ученик и последователь А. А. Сокола кандидат сельскохозяйственных наук, доцент по специальности «Селекция и семеноводство» Евгений Григорьевич Филиппов, который работал в отделе с 1981 г. сначала старшим лаборантом, затем младшим научным сотрудником, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией и заведующим отделом (рис. 3).



Рис. 3. Заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя Филиппов Е. Г.
Fig. 3. Head of the department of barley breeding and seed production Filippov E. G.

Е.Г. Филиппов являлся и является руководителем диссертационных работ всех сотрудников отдела селекции и семеноводства ячменя (семь человек).

За период с 2000 г. и по настоящее время создано 34 сорта ячменя, в том числе 11 озимого, 13 ярового и 10 сортов-двуручек, на которые получены 32 авторских свидетельства, 23 патента, три сорта (Аркан, Степ, Стрелец 30) находятся в изучении в Госсортсети РФ и других стран. Эти сорта в разные годы были внесены в Госреестр селекционных достижений РФ (5, 6, 7, 8, 12 регионы), Украины, Армении, Грузии, Кыргызстана и Казахстана. Они обладают высоким генетическим потенциалом продуктивности, экологической пластичности, устойчивостью к полеганию и болезням.

Также в это время было опубликовано более 250 научных статей в отечественной и зарубежной печати, в том числе 7 книг, 12 методических рекомендаций.

Высокие требования к новым сортам ячменя в условиях интенсификации растениеводства определили новый этап в селекции – объединение усилий селекционеров и ученых сопутствующих специальностей: генетиков, физиологов, иммунологов, биохимиков, технологов, семеноводов не только нашего учреждения, но и ведущих ученых по данному направлению (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, ВНИИ зернобобовых культур, Самарский НИИСХ, ВИР им. Н.И. Вавилова и др.). В такой организации селекционного процесса скрыты значительные резервы в распространении и внедрении новых сортов ФГБНУ «АНЦ «Донской» в других регионах Российской Федерации.

Были разработаны новые инновационные направления в селекции ячменя: по озимому – создание двурядных пивоваренных сортов с высокими солодовенными показателями (сорт Рандеву) и по яровому – кормовых ячменей (зеленый корм), которые ранее в Госреестре РФ отсутствовали. По данному направлению был разработан и создан сорт Новик.

С 2007 г. заведующей лабораторией селекции и семеноводства озимого ячменя является кандидат сельскохозяйственных наук Донцова Александра Александровна (рис. 4).



Рис. 4. Заведующая лабораторией селекции и семеноводства озимого ячменя кандидат с.-х. наук Донцова А. А.
Fig. 4. Head of the laboratory for winter barley breeding and seed production, Candidate of Agricultural Sciences, Dontsova A. A.

В этот период была изучена комбинационная способность сортов озимого и ярового ячменя по основным селектируемым признакам. Наряду с Е.Г. Филипповым и А.А. Донцовой существенный вклад в селекционную работу по ячменю внесли ведущий научный сотрудник, кандидат с.-х. наук Донцов Д. П., научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук Дорошенко Э.С., младшие научные сотрудники Брагин Р.Н. и Засыпкина И.М.

В результате целенаправленной работы с использованием межсортовой гибридизации эколого-географически отдаленных форм и сортов, целенаправленных отборов выделены сорта озимого ячменя с высокой морозостойкостью, урожайностью, устойчивостью к полеганию и основным болезням, поражающим культуру озимого ячменя.

С начала XXI в. были переданы на Государственное сортоиспытание РФ, Украины, Армении, Кыргызстана, Казахстана сорта: Полет (2001), Мастер (2001), Садко (2003), Гранд (2004), Жигули (2004), Тигр (2008), Тимофей (2008), ВолгоДон (2008), Рандеву (2011), Ерема (2011), Виват (2013), Артель (2014), Фокс 1 (2015), Маруся (2017), Квант (2019), Степ (2021).

В Реестр селекционных достижений РФ, Украины, Армении, Кыргызстана, Казахстана были включены 11 сортов озимого ячменя – Ларец (2001), Полет (2005), Жигули (2008, создан совместно с Самарским НИИСХ), Ерема (2015), Фокс 1 (2019) и двуручек – Мастер (2005), Тимофей (2012), Тигр (2013), Виват (2018), Маруся (2020), Квант (2023, создан совместно с Самарским НИИСХ). В изучении находится сорт озимого ячменя Степ.

Необходимо также отметить, что в условиях глобального потепления климата ареал возделывания озимого ячменя в последние годы значительно расширился. Так, наиболее зимостойкие из всех отечественных сортов Жигули, Ерема и Квант рекомендованы Госкомиссией по сортоиспытанию РФ для возделывания не только в Северо-Кавказском, но и Средневолжском и Нижневолжском регионах.

Правильно выбранные направления селекции ярового ячменя, целенаправленный отбор определили успех в создании новых высокоурожайных засухоустойчивых сортов

с комплексной устойчивостью к болезням и полеганию. За период с 2000 по 2023 г. было передано для изучения в Госсортсети 13 сортов ярового ячменя, из которых 12 было внесено в Госреестр селекционных достижений РФ. Это Приазовский 9 (2000), Ратник (2004), Сокол (2005), Ясный (2006), Тонус (2008), Щедрый (2010), Леон (2011), Новик (2011), Грис (2015), Федос (2019), Формат (2020), Азимут (2022). В изучении находятся сорта Аркан и Стрелец 30 (создан совместно с ВНИИ зернобобовых культур). Большинство из вышеперечисленных сортов являются ценными по крупным качествам. Сорта Приазовский 9 и Формат внесены в список ценных по пивоваренным качествам, а сорт Новик открыл счет кормовым (зеленый корм) сортам в Госреестре РФ.

Подготовлены к передаче четыре новых сорта: два ярового и два озимого ячменя, в том числе с участием селекционеров Самарского НИИСХ и НИИСХ Крыма.

Необходимо отметить заслугу в создании новых сортов не только работающих ныне в отделе селекционеров, но и их предшественников, которые проработали длительное время в отделе. Более 10 лет: Веретющенко Е.Г. (1961–1972), Ерешко А.С. (1973–1984), Тищенко З.Н. (1974–1987), Бурмистенко Г.П. (1982–1993), Коваленко Л.Н. (1985–2002), Землянухина Л.А. (1983–1998); более 20 лет: Колинко В.А. (1964–1984), Матвиевская Н.И. (1984–2005), Приходькова Л.П. (1985–2007); более 30 лет: Серебрянская В.П. (1973–2006); более 40 лет: супруга А.А. Сокола – Сокол Татьяна Васильевна (1972–2014). Из технического персонала необходимо отметить лаборантов-исследователей Бараковскую Т.А. (1997–2018), Кольчикову Е.М. (1983–2018), Козлову Л.М. (1972–2010), Иващенко Т.М. (2000–2020), которые добросовестно и качественно выполняли техническую часть исследований (рис. 5).



Рис. 5. Коллектив отдела селекции и семеноводства ячменя, 1983 год
Fig. 5. The staff of the department of barley breeding and seed production, 1983

В течение последующих 40 лет коллектив отдела претерпел значительные изменения, он уменьшился в половину. Однако это

не снизило эффективности исследований, а наоборот, увеличило результативность работы (рис. 6).



Рис. 6. Коллектив отдела селекции и семеноводства ячменя, 2023 год
Fig. 6. The staff of the department of barley breeding and seed production, 2023

В 2014 г. в отделе открыты новые направления – создание голозерных сортов ярового ячменя и безостых сортов озимого ячменя. На основе комплексного изучения коллекционных сортов и образцов выделен ценный исходный материал, адаптированный к усилению проявления аридности климата. В настоящее время несколько перспективных голозерных и безостых линий проходят изучение в конкурсном сортоиспытании (Doroshenko et al., 2021; Донцова и др., 2014).

С 2016 г. ведется активная работа по выявлению линий озимого ячменя, обладающих генетической устойчивостью к поражению сетчатым гельминтоспориозом. Совместно с ВИР им. Н.И. Вавилова в рамках Проекта РФФИ № 15-34-51164 «Исследовательские испытания тест-систем молекулярного маркирования устойчивости ячменя к сетчатой пятнистости в условиях Южного Федерального округа» установлено, что ген *rpt5* является эффективным в плане устойчивости озимого ячменя к сетчатой пятнистости в условиях юга России. Выявлены функциональные аллели фланкирующих ген *rpt5* маркеров *hvm74* и *bmag0173*, сцепленные с устойчивостью к поражению данным патогеном в условиях юга России. Определены доноры устойчивости к данному патогену (Dontsova et al., 2018). Ежегодно проводится скрининг селекционного материала озимого ячменя на выявление гена устойчивости к сетчатому гельминтоспориозу. В конкурсном сортоиспытании изучаются линии-носители эффективного гена, обладающие высоким уровнем полевой устойчивости к патогену.

В результате коллективной работы сотрудников отдела и ВИР им. Н.И. Вавилова определены перспективы применения системы

функциональных (геноспецифичных) маркеров для маркер-вспомогательной селекции высокопродуктивных сортов ячменя путем сопоставления аллельного полиморфизма гена «полукарликовости» *sdw1/denso*, генов яровизации *Vrn* и генов фотопериода *Ppd* с результатами фенотипической оценки экономически важных признаков ячменя в полевых условиях. Установлено, что доминантный (мутантный) аллель гена «полукарликовости» *sdw1/denso* может быть рекомендован для отбора более продуктивных генотипов, поскольку аллели гена *sdw1/denso* достоверно ассоциированы с одним из главных параметров урожайности – крупностью зерна. Показано достоверное влияние полиморфизма гена *Vrn-H2* на содержание белка в зерне и устойчивость сортов к полеганию (Алабушев и др., 2019).

Совместно с Всероссийским НИИ радиологии и агроэкологии проведена оценка радиочувствительности сортов озимого и ярового ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» с целью выявления сортов, устойчивых к проявлению стресс-факторов окружающей среды. Полученные результаты позволили провести анализ экспрессии генов и биохимических характеристик ранжированных сортов, что помогло выявить детерминанты формирования различной радиочувствительности сортов ячменя. Полученные данные о дифференциальной экспрессии генов расширили знания о молекулярных путях, участвующих в эффекте стимуляции, и предложения универсальных ген-мишеней для различных сортов ячменя могут быть основой для будущих исследований, направленных на получение более стрессоустойчивых сортов ячменя (Казакова и др., 2020; Gorbatova et al., 2020; Pishenin et al., 2021). В на-

стоящее время работа по поиску генов устойчивости к абиотическим и биотическим стрессорам и созданию стрессоустойчивых линий ячменя при помощи ионизирующих излучений и технологий редактирования генома продолжается в рамках Федеральной научно-исследовательской программы развития генетических технологий на 2019–2027 годы (на базе ФГБНУ ВНИИРАЭ).

Результатом совместных исследований с научными учреждениями страны является создание сортов ячменя озимого: Садко, Жигули, Квант (Самарский научный центр), Артель (Самарский научный центр, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур), Фокс 1 (Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.Н. Вавилова»), Маруся (Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко), Стрелец 30 (ВНИИ зернобобовых культур).

Многолетнее изучение разнообразного коллекционного и селекционного материала районированных сортов, ретроспективный анализ исследований по селекции ячменя на Дону, а также изучение взаимосвязей между урожайностью, элементами ее структуры, устойчивостью к стресс-факторам, полеганию, болезням позволили определить комплекс показателей, которыми должны характеризоваться вновь создаваемые сорта для условий Ростовской области.

Результатом данной работы стало существенное повышение результативности селекционной работы по ячменю в нашем учреждении. Так, по озимому ячменю в период 1961–1980 гг. результативность селекции составляла 42,9 %, 1981–2000 гг. – 50,0 %, 2001–2020 гг. – 66,7 %, по яровому ячменю – 33,3, 56,3 и 84,6 % соответственно (см. табл. 3, 4).

Таблица 3. Результаты селекции по озимому ячменю, 1961–2023 гг.
Table 3. Winter barley breeding results, 1961–2023

Период, гг.	Название сорта	Тип развития	Год передачи для изучения в Госсортсети РФ	Год внесения в Госреестр РФ	Результативность селекции*
1961–1980	Ростовский 12	озимый	1967	–	42,9
	Искра	двуручка	1972	1976	
	Паллидум 198	озимый	1974	1980	
	Эврика	двуручка	1977	–	
	Ростовский 15	озимый	1978	–	
	Горизонт	двуручка	1978	1982	
	Задонский 50	двуручка	1980	–	
1981–2000	Силуэт	озимый	1983	1988	50,0
	Ростовский 738	озимый	1985	–	
	Ростовский 908	двуручка	1989	–	
	Ростовский 55	озимый	1993	1998	
	Донской 11	озимый	1996	–	
	Ларец	двуручка	1998	2001	
2001–2020	Мастер	двуручка	2002	2005	66,7
	Полет	озимый	2002	2005	
	Садко	озимый	2003	–	
	Гранд	озимый	2004	–	
	Жигули	озимый	2004	2008	
	Тигр	двуручка	2008	2013	
	Тимофей	двуручка	2008	2012	
	ВолгоДон	двуручка	2010	–	
	Артель	озимый	2011	–	
	Рандеву	озимый	2011	–	
	Ерема	озимый	2011	2015	
	Виват	двуручка	2013	2017	
	Фокс 1	озимый	2016	2019	
	Маруся	двуручка	2017	2020	
	Квант	озимый	2019	2022	
2021–	Степ	двуручка	2021	изучается	

Примечание. * – расчет результативности селекции производился по формуле $R = V / P \times 100 \%$, где R – результативность селекции, %; V – количество сортов, внесенных в Госреестр селекционных достижений РФ, шт.; P – количество сортов, переданных для изучения, шт.

Таблица 4. Результаты селекции по яровому ячменю, 1961–2023 гг.
Table 4. Spring barley breeding results, 1961–2023

Период, гг.	Название сорта	Год передачи для изучения в Госсортсети	Год внесения в Госреестр	Результативность селекции
1961–1980	Зерноградский 20	1974	–	33,3
	Зерноградский 33	1976	–	
	Зерноградский 73	1976	1980	
	Зерноградский 86	1976	1983	
	Кристалл 71	1978	–	
	Дончак	1980	–	
1981–2000	Символ	1982	–	56,3
	Лидер	1983	–	
	Зерноградский 244	1983	1988	
	Тан-1	1984	1990	
	Зерноградский 385	1985	1990	
	Казер	1987	–	
	Маныч 459	1987	1993	
	Дивный	1989	–	
	Дончак 2	1991	–	
	Зерноградский 584	1991	1995	
	Задонский 8	1994	1997	
	Зерноградский 813	1994	1997	
	Зерноградец 770	1996	1998	
	Приазовский 9	1997	2000	
	Малахит 10	1999	–	
	Азов	1999	–	
2001–2020	Ратник	2001	2004	84,6
	Сокол	2001	2005	
	Ясный	2002	2006	
	Заветный	2004	–	
	Тонус	2004	2008	
	Щедрый	2008	2011	
	Леон	2009	2013	
	Новик	2009	2013	
	Грис	2013	2016	
	Юла	2013	–	
	Федос	2016	2019	
	Формат	2017	2020	
	Азимут	2019	2022	
2021–	Стрелец 30	2021	изучается	
	Аркан	2022	изучается	

На перспективу приоритетными направлениями селекционной работы по ячменю в ФГБНУ «АНЦ «Донской» являются:

– создание сортов ярового ячменя различных идиотипов разнообразного хозяйственного использования (фуражные, «зеленый корм», крупяные, пивоваренные и иные цели) с высоким уровнем толерантности к любым проявлениям засухи и устойчивостью к лимитирующим стресс-факторам;

– создание сортов озимого ячменя и двуручек, обладающих высоким уровнем зимо- и морозостойкости на генетическом уровне.

Выводы.

Селекционный процесс за этот период возглавляли: А.В. Соснин – с 1932 по 1942 г., А.А. Куц – с 1944 по 1956 г., И.К. Котко – с 1957 по 1959 г., З.М. Калашникова – с 1960 по 1961, А.А. Сокол – с 1962 по 2000 г., Е.Г. Филиппов – с 2000 г. и по настоящее время. Научно-техническую часть проводил многочисленный

коллектив научных сотрудников, лаборантов и рабочих.

За 90 лет селекционной работы создано 76 сортов, (три находятся в изучении), из которых 39 было районировано или внесено в Государственный реестр селекционных достижений СССР, РФ и зарубежных стран. На 2023 г. в Госреестр России, Армении, Казахстана, Киргизии, Украины внесено 14 сортов ячменя и три проходят изучение.

Результатом совместных исследований с научными учреждениями страны является создание сортов ячменя: Садко, Жигули, Квант (Самарский научный центр), Артель, Стрелец 30 (Самарский научный центр, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур), Фокс 1 (Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.Н. Вавилова»), Маруся (Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко).

Библиографические ссылки

1. Алабушев В.А. Прогрессивная технология выращивания ярового ячменя на Северном Кавказе. Ростов н/Д.: Издательство Ростовского университета, 1992. 112 с.
2. Алабушев А.В., Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Перчук И.Н., Теплякова С.Б. Анализ влияния нуклеотидного полиморфизма гена *sdw1/denso* на изменчивость основных хозяй-

ственно-ценных признаков озимого ячменя // Земледелие. 2019. № 8. С. 38–42. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10809.

3. Алабушев А. В., Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Перчук И. Н., Теплякова С. Б., Потокина Е. К. Поиск ассоциации аллельного полиморфизма генов Ppd и Vrn с изменчивостью основных хозяйственно-ценных признаков озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. № 3 (63). 2019. С. 19–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-19-25.

4. Варламов А. А. Краткие сведения о Зерноградской государственной селекционной станции. Сборник научных трудов. Ростов н/Д.: Ростовское книжное издательство, 1957. С. 232–233.

5. Грабовец А. И., Кадушкина В. П., Коваленко С. А. Совершенствование методологии селекции яровой твердой пшеницы в условиях меняющегося климата // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 3. С. 33–36. DOI: 10.30850/vrsn/2019/3/33-36.

6. 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.

7. Донцова А. А., Филиппов Е. Г. Безостый ячмень – новое направление в селекции // Зерновое хозяйство России. № 1 (31). 2014. С. 13–16.

8. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Левакова О. В., Дедушев И. А., Наумова В. В. Использование метода оценки адаптивной способности, стабильности генотипов и дифференцирующей способности среды в селекции ярового ячменя на повышение качества зерна // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6(60). С. 55–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-55-59.

9. Иванисов М. М., Марченко Д. М., Некрасов Е. И. Оценка сортов озимой мягкой пшеницы в межстанционном испытании по хозяйственно-ценным признакам // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16.

10. Казакова Е. А., Макаренко Е. С., Подлущий М. С., Донцова А. А., Битаршвили С. В., Лыченкова М. А., Горбатова И. В., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Чиж Т. В., Снегирев А. С., Волкова П. Ю. Радиочувствительность сортов озимого ячменя и ярового ячменя по выраженности морфологического эффекта низкодозового гамма-облучения оригинальных семян // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2 (68). С. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-23-28.

11. Сокол А. А. Ячменное поле Дона. Ростов н/Д.: Кн. изд-во, 1985. 112 с.

12. Солонечный П. Н. AMMI и GGE biplot анализ взаимодействия генотип – среда линий ячменя ярового // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 6. С. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283.

13. Темирбекова С. К., Афанасьева Ю. В., Куликов И. М., Ковалева О. Н., Ионова Н. Э. Исходный материал для селекции ярового ячменя в Центральной Нечерноземной зоне // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 169–23. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/19-23.

14. Филиппов Е. Г., Алабушев А. В. Селекция ярового ячменя. Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2014. 208 с.

15. Филиппов Е. Г., Донцова А. А. Селекция озимого ячменя. Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2014. 208 с.

16. Dontsova A. A., Alabushev A. V., Lebedeva M. V., Potokina E. K. Analysis of polymorphism of microsatellite markers linked to a longterm net form of net blotch resistance gene in winter barley varieties in the south of Russia // Indian Journal Genetics and Plant Breeding. 2018. № 78 (3). P. 317–323. DOI: 10.31742/IJGPB.78.3.4.

17. Gorbatoва I. V., Kazakova E. A., Podlutskiy M. S., Pishenin I. A., Bondarenko V. S., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Snegirev A. S., Makarenko E. S., Bitarishvili S. V., Lychenkova M. A., Chizh T. V., Volkova P. Yu. Studying Gene Expression in Irradiated Barley Cultivars: PM19L-like and CML31-like Expression as Possible Determinants of Radiation Hormesis Effect // Agronomy. 2020. Vol. 10, № 11. Article number 1837. DOI: 10.3390/agronomy10111837.

18. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breedingvaluable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937, Article number 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121.

19. Pishenin I., Gorbatoва I., Kazakova E., Podobed M., Mitseniyk A., Shesterikova E., Dontsova A., Dontsov D., Volkova P. Free Amino Acids and Methylglyoxal as Players in the Radiation Hormesis Effect after Low-Dose γ -Irradiation of Barley Seeds // Agriculture. 2021. Vol. 11, № 10. P. 918. DOI: 10.3390/agriculture11100918.

References

1. Alabushev V. A. Progressivnaya tekhnologiya vyrashchivaniya yarovogo yachmenya na Severnom Kavkaze [Progressive technology for growing spring barley in the North Caucasus]. Rostov n/D.: Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta, 1992. 112 s.

2. Alabushev A. V., Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Perchuk I. N., Teplyakova S. B. Analiz vliyaniya nukleotidnogo polimorfizma gena sdw1/denso na izmenchivost' osnovnykh khozyaystvenno-tsennyykh priznakov ozimogo yachmenya [Analysis of the effect of the nucleotide polymorphism of the sdw1/denso gene on the variability of the main economically valuable traits of winter barley] // Zemledelie. 2019. № 8. S. 38–42. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10809.

3. Alabushev A. V., Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Perchuk I. N., Teplyakova S. B., Potokina E. K. Poisk assotsiatsii allelnogo polimorfizma genov Ppd i Vrn s izmenchivost'yu osnovnykh khozyaystvenno-tsennyykh priznakov ozimogo yachmenya [Search for the correlation between allelic polymorphism of the Ppd and Vrn genes and the variability of the main economically valuable traits of winter barley] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. № 3 (63). 2019. S. 19–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-19-25.

4. Varlamov A.A. Kratkie svedeniya o Zernogradskoi gosudarstvennoi selektsionnoi stantsii. Sbornik nauchnykh trudov [Brief information about the Zernograd State Breeding Station]. Rostov-na-Donu: Rostovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1957. S. 232–233.
5. Grabovets A.I., Kadushkina V.P., Kovalenko S.A. Sovershenstvovanie metodologii selektsii yarovoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh menyayushchegosya klimata [Improving the breeding methodology for spring durum wheat under a changing climate] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2019. № 3. S. 33–36 DOI: 10.30850/vrsn/2019/3/33-36.
6. 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 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.
7. Dontsova A.A., Filippov E. G. Bezostyi yachmen' – novoe napravlenie v selektsii [Awnless barley as a new direction in breeding] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. № 1 (31). 2014. S. 13–16.
8. Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko N.A., Levakova O.V., Dedushev I.A., Naumova V.V. Ispol'zovanie metoda otsenki adaptivnoi sposobnosti, stabil'nosti genotipov i differentsiruyushchei sposobnosti sredi v selektsii yarovogo yachmenya na povyshenie kachestva zerna [Using the estimation method for the adaptive capacity, genotype stability and differentiating ability of the environment in spring barley breeding to improve grain quality] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6(60). S. 55–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-55-59.
9. Ivanisov M.M., Marchenko D.M., Nekrasov E.I. Otsenka sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v mezhshtatsionnom ispytanii po khozyaistvenno-tsennym priznakam [Estimation of winter common wheat varieties in an inter-station test on economically valuable traits] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 1. S. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16.
10. Kazakova E.A., Makarenko E.S., Podlutskiy M.S., Dontsova A.A., Bitarishvili S.V., Lychenkova M.A., Gorbatoval I.V., Filippov E. G., Dontsov D.P., Chizh T.V., Snegirev A.S., Volkova P.Yu. Radiochuvstvitel'nost' sortov ozimogo yachmenya i yarovogo yachmenya po vyrazhennosti morfologicheskogo effekta nizkodozovogo gamma-oblucheniya original'nykh semyan [Radiosensitivity of winter and spring barley varieties according to the severity of the morphological effect of low-dose gamma irradiation of original seeds] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 2 (68). S. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-23-28.
11. Sokol A.A. Yachmennoe pole Dona [Don barley field]. Rostov n/D.: Kn. izd-vo, 1985. 112 s.
12. Solonechnyi P.N. AMMI i GGE biplot analiz vzaimodeistviya genotip – sreda linii yachmenya yarovogo [AMMI and GGE biplot analysis of 'genotype-environment' interaction of spring barley lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2017. T. 21, № 6. S. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283.
13. Temirbekova S.K., Afanas'eva Yu. V., Kulikov I.M., Kovaleva O.N., Ionova N.E. Iskhodnyi material dlya selektsii yarovogo yachmenya v Tsentral'noi Nechernozemnoi zone [Initial material for spring barley breeding in the Central Non-Chernozem zone] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2019. № 6. S. 169–23. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/19-23.
14. Filippov E. G., Alabushev A.V. Seleksiya yarovogo yachmenya [Spring barley breeding]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2014. 208 s.
15. Filippov E. G., Dontsova A.A. Seleksiya ozimogo yachmenya [Winter barley breeding]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2014. 208 s.
16. Dontsova A.A., Alabushev A.V., Lebedeva M.V., Potokina E.K. Analysis of polymorphism of microsatellite markers linked to a long-term net form of net blotch resistance gene in winter barley varieties in the south of Russia // Indian Journal Genetics and Plant Breeding. 2018. № 78 (3). 317–323. DOI: 10.31742/IJGPB.78.3.4.
17. Gorbatoval I.V., Kazakova E.A., Podlutskiy M.S., Pishenin I.A., Bondarenko V.S., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Snegirev A.S., Makarenko E.S., Bitarishvili S.V., Lychenkova M.A., Chizh T.V., Volkova P.Yu. Studying Gene Expression in Irradiated Barley Cultivars: PM19L-like and CML31-like Expression as Possible Determinants of Radiation Hormesis Effect // Agronomy. 2020. Vol. 10, № 11. Article number 1837. DOI: 10.3390/agronomy10111837.
18. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breedingvaluable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937, Article number 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121.
19. Pishenin I., Gorbatoval I., Kazakova E., Podobed M., Mitsenyk A., Shesterikova E., Dontsova A., Dontsov D., Volkova P. Free Amino Acids and Methylglyoxal as Players in the Radiation Hormesis Effect after Low-Dose γ -Irradiation of Barley Seeds // Agriculture. 2021. Vol. 11, № 10. P. 918. DOI: 10.3390/agriculture11100918.

Поступила: 28.03.23; доработана после рецензирования: 10.04.23; принята к публикации: 10.04.23.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. – анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

МАРКЕР-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СЕЛЕКЦИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ, КАЧЕСТВА ЗЕРНА, УСТОЙЧИВОСТИ К БОЛЕЗНЯМ И ЗАСУХЕ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С. С. Шепелев, заведующий лабораторией генетики зерновых культур, кандидат сельскохозяйственных наук, ss.shepelev@omgau.org, ORCID ID: 0000-0002-4282-8725;
И. В. Потоцкая, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, доктор сельскохозяйственных наук, iv.pototskaya@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-3574-2875;
А. С. Чурсин, заведующий лабораторией селекции и семеноводства полевых культур, кандидат сельскохозяйственных наук, as.chursin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0001-6797-6145;
А. И. Моргунов, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства полевых культур, кандидат сельскохозяйственных наук, alexey.morgounov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7082-5655;
В. П. Шаманин, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, доктор сельскохозяйственных наук, vp.shamanin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-4767-9957
ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ),
644008, Омская обл., г. Омск, Институтская пл., д. 1

Вызовы, предъявляемые современным потребительским рынком, изменением климата, возрастанием числа эпифитотийных и засушливых лет, диктуют необходимость ускорения селекции пшеницы по целому комплексу признаков, в первую очередь связанных с повышением урожайности, качества зерна, устойчивости к болезням и засухе. Маркер-ориентированная селекция позволяет сократить сроки создания сортов с заданными параметрами в условиях конкретного региона. Цель настоящей работы – выявление KASP-маркеров, ассоциированных с генами ценных признаков в коллекционном и селекционном материале пшеницы, и эффективных SNP-локусов для маркер-ориентированной селекции в условиях Западной Сибири. Идентификация генов, контролирующей хозяйственно ценные признаки, с использованием 64-х KASP-маркеров в 2020 г. выполнена в лаборатории LGC-Genomics (Великобритания). Установлено, что платформы генотипирования SNP-локусов большого количества сортов современной селекции имели значительное сходство, несмотря на географическую разобщенность сортов, что свидетельствует об уязвимости зернового производства в случае масштабных эпифитотий и засухи. Выявлены различия по идентифицированным SNP-локусам и частоте их встречаемости между сортами современной селекции, стародавней пшеницы и селекционного материала на основе синтетической пшеницы. По результатам фенотипирования изученных образцов в полевых сезонах 2020–2021 гг. отмечено достоверное влияние параметров корневой системы (гены *TraesCS2D01G395500.1* и *TraesCS4D01G341800.1* в хромосомах 2D и 4D) на увеличение крупности зерна и урожайности; гена засухоустойчивости *TaDreb-B1* – на увеличение озерненности колоса и урожайности. В повышение питательной ценности зерна и накопление белка в зерне существенный вклад вносили гены *GPC-B1* и *TraesCS2D01G316300.1*, отвечающие за ремобилизацию азота, накопление белка и сухой биомассы в зерне. Маркер-контролируемым отбором в КСИ выделены сорта, достоверно превышающие стандарты по урожайности, с комплексом генов, имеющих положительные эффекты на качество зерна, устойчивость к болезням и засухе.

Ключевые слова: пшеница, сорт, урожайность, качество зерна, устойчивость, KASP-маркеры.

Для цитирования: Шепелев С. С., Потоцкая И. В., Чурсин А. С., Моргунов А. И., Шаманин В. П. Маркер-ориентированная селекция яровой мягкой пшеницы на повышение урожайности, качества зерна, устойчивости к болезням и засухе в условиях Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 18–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-18-25.



MARKER ASSISTED SELECTION (MAS) OF SPRING BREAD WHEAT TO IMPROVE PRODUCTIVITY, GRAIN QUALITY, RESISTANCE TO DISEASES AND DROUGHT IN THE CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

S. S. Shepelev, head of the laboratory for grain crop genetics, Candidate of Agricultural Sciences, ss.shepelev@omgau.org, ORCID ID: 0000-0002-4282-8725;
I. V. Pototskaya, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, Doctor of Agricultural Sciences, iv.pototskaya@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-3574-2875;
A. S. Chursin, head of the laboratory for field crops' breeding and seed production, Candidate of Agricultural Sciences, as.chursin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0001-6797-6145;
A. I. Morgunov, leading researcher of the laboratory for field crops' breeding and seed production, Candidate of Agricultural Sciences, alexey.morgounov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7082-5655;
V. P. Shamanin, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, Doctor of Agricultural Sciences, vp.shamanin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-4767-9957
FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin" (FSBEI HE Omsk SAU)
644008, Omsk region, Omsk, Institutskaya Sq., 1

The challenges at the modern consumer market, climate change, an increase in the number of epiphytotic and arid years dictate the necessity to accelerate wheat breeding for a whole range of traits and, above all, those associated with an improvement of productivity, grain quality, resistance to diseases and drought. Marker assisted selection (MAS) allows reducing time for developing varieties with specified parameters in the conditions of a particular region. The purpose of the current work was to identify KASP-markers associated with genes of valuable traits in the collection and breeding material of wheat and effective SNP-loci for marker assisted selection (MAS) in Western Siberia. Identification of genes that control economically valuable traits using 64 KASP-markers in 2020 was performed in the LGC-Genomics laboratory (Great Britain). It was found that the platforms for genotyping SNP-loci of a large number of current varieties had a significant similarity, despite the geographical separation of varieties, which indicated the vulnerability of grain production during large-scale epiphytotic and drought. There have been found differences in the identified SNP-loci and their frequency of occurrence between current varieties, ancient wheat varieties, and breeding material based on synthetic wheat. According to the results of phenotyping of the studied samples in the field seasons of 2020–2021 there has been shown a significant effect of the root system's parameters (genes *TraesCS2D01G395500.1* and *TraesCS4D01G341800.1* in chromosomes 2D and 4D) on grain size and productivity improvement. The drought resistant gene *TaDreb-B1* has affected on an increase of grain content of a head and productivity. The genes *GPC-B1* and *TraesCS2D01G316300.1*, which are responsible for nitrogen remobilization, protein and dry biomass accumulation in grain, significantly contributed to the improvement of nutritional grain value and accumulation of protein in grain. Due to marker-controlled selection in the CVT, there have been identified the varieties that significantly exceeded productivity standards, with a complex of genes that have positive effects on grain quality, resistance to diseases and drought.

Keywords: wheat, variety, productivity, grain quality, resistance, KASP-markers.

Введение. В Западной Сибири ежегодно производят более 10 млн т высококачественного зерна пшеницы, из которых до 50 % экспортируют в страны Центральной Азии, Ближнего Востока и в Китай. Для наращивания экспортного потенциала и обеспечения внутреннего спроса РФ необходимо увеличивать валовые сборы зерна пшеницы высокого качества. Генотипические особенности возделываемых сортов играют важную роль в формировании урожайности и качества зерна пшеницы (Шаманин и др., 2018). Внедрение в селекционный процесс новых генетических технологий, таких как маркер-ориентированная селекция, маркер-контролируемый отбор и геномная селекция, позволило сократить сроки создания сортов с заданными признаками и повысить эффективность переноса целевых генов в селекционный материал (Rasheed and Xia, 2019). Поиск генетических источников с ценными аллельными вариантами генов, контролирующими технологические свойства зерна и муки, включая их идентификацию, необходим для получения генетически детерминированных сортов сильной и ценной по качеству пшеницы (Хлесткина и др., 2016; Shchukina et al., 2020). Актуальным направлением селекции является преодоление отрицательной взаимосвязи между урожайностью и качеством зерна пшеницы, так как производству необходимы сорта пшеницы с улучшенными технологическими и питательными свойствами и высоким уровнем урожайности (Li et al., 2021). В Индии получены высокоурожайные линии, устойчивые к ржавчинным болезням, сочетающие в генотипе функциональный аллель *Gpc-B1* (Grain protein content), определяющий высокое содержание белка в зерне, и локусы, кодирующие высокомолекулярные субъединицы глютенина (HMW-GS) *Glu-A1-1/Glu-A1-2*, *Glu-D1* (Gautam et al., 2020; Gupta et al., 2022). Примером успешного пирамидирования генов количественных и качественных признаков служит сорт китайской селекции Zhengmai 7698. При его создании было исполь-

зовано 26 ДНК-маркеров, ассоциированных с генами, контролирующими качество клейковины, твердозерность, цвет муки, устойчивость к мучнистой росе и желтой ржавчине, устойчивость к предуборочному прорастанию зерна (Li et al., 2018).

Важнейшими характеристиками качества зерна пшеницы в нашей стране является содержание белка и клейковины. Дикий тип аллеля *Gpc-B1*, ускоряющий старение флаговых листьев, оказывает плеiotропное воздействие на ремобилизацию азота, накопление белка, микроэлементов Fe и Zn в зерне и имеет незначительное отрицательное влияние на урожайность (Tabbitta et al., 2017). Для гена *Gpc-B1* (хромосома 6BS), обладающего большим потенциалом для улучшения питательной ценности и технологических свойств зерна пшеницы, были разработаны диагностические маркеры. Реологические свойства теста, в частности его газодерживающая сила, упругость и растяжимость, существенно зависят от содержания в клейковине высокомолекулярных субъединиц глютенина (Kuchel et al., 2006). Аллели *Glu-A1* (1) и (2*) высокомолекулярного глютенина, улучшающие хлебопекарное качество, были маркированы на хромосоме 1A, *Glu-D1* (5+10) – на хромосоме 1D. Для отбора генотипов в ранних гибридных популяциях, несущих данные аллели, разработаны ДНК-маркеры, используемые в селекционных программах (Ravel et al., 2020). Конкурентная аллель-специфическая ПЦР (KASP™) представляет собой универсальную технологию генотипирования, обеспечивающую высокую производительность с минимальными затратами времени и средств (Rasheed et al., 2016).

Цель исследований – выявление KASP-маркеров, ассоциированных с генами ценных признаков в коллекционном и селекционном материале пшеницы, и эффективных SNP-локусов для маркер-ориентированной селекции в условиях Западной Сибири.

Материалы и методы исследований. Коллекция сортов и линий, селекционный ма-

териал яровой мягкой пшеницы, включенные в платформу генотипирования, изучались

на малом опытном поле Омского ГАУ в 2020–2021 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Селекционный материал яровой мягкой пшеницы, включенный в платформу генотипирования, 2020–2021 гг.
Table 1. Breeding material of spring bread wheat, included in the genotyping platform, 2020–2021

№ группы	Источник получения материала	Селекционный материал	Количество образцов, шт.
I	Учреждения международной сети КАСИБ, Омский ГАУ, Омский АНЦ, США	Сорта России и Казахстана из питомников КАСИБ, реестровые сорта Омского ГАУ и Омского АНЦ, сорта из США	210
II	Омский ГАУ	Сорта питомников ПСИ и КСИ	54
III	ВИР	Местные и стародавние сорта пшеницы из коллекции ВИР (ландрасы)	113
IV	Омский ГАУ	Селекционные линии, полученные скрещиванием сортов пшеницы омской селекции с синтетиками на основе <i>Ae. tauschii</i> из CIMMYT и университета Киото (Япония)	95
V	Стандарты	Памяти Азиева, Дуэт, Элемент 22	3
Всего			475

В 2020 г. для генотипирования материала, представленного в таблице 1, проводили отбор проб из листьев растений на стадии колошения. Собранный материал в 96-луночных планшетах отправляли в лабораторию LGC-Genomics (Великобритания), где была выполнена идентификация генов, контролирующих хозяйственно ценные признаки, с использованием 64-х KASP-маркеров. Закладка селекционных питомников, учеты и наблюдения проведены в соответствии с общепринятой методикой селекционного процесса (Гончаров и Гончаров, 2009). В качестве стандартов использовали среднеранний сорт Памяти Азиева, среднеспелый – Дуэт и среднепоздний – Элемент 22.

В 2020–2021 гг. в Омской области наблюдалась сухая жаркая погода – средняя температура в период вегетации яровой пшеницы составила 16,8–17,1 °C, сумма осадков – 167–168 мм соответственно. Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа по методике, изложенной в пособии Б. А. Доспехова (2014). Для проверки влияния генов, сцепленных с KASP-маркерами, на фенотипическое проявление хозяйственно ценных признаков сравнивали две группы сортообразцов: с наличием «благоприятного аллеля» – условно A:A и без «благоприятного аллеля» – G:G (Шаманин и др., 2021; Rasheed et al., 2016). Достоверность различий между сравниваемыми группами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при $p < 0,05$ по формуле:

$$t = \frac{M_x - M_y}{\sqrt{\frac{S_x^2}{n_x} + \frac{S_y^2}{n_y}}};$$

$$S^2 = \frac{\sum (x - M^2)}{n - 1},$$

где M_x и M_y – средние значения для двух групп – A:A и G:G; n_x и n_y – интервалы выборки двух групп; x – результаты наблюдений; n – количество наблюдений в опыте; S^2 – стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ результатов генотипирования между изученными группами сортообразцов свидетельствует о наличии генотипических различий по частоте встречаемости SNP-локусов, детерминирующих важные для селекционной практики признаки (табл. 2). Следует отметить, что сортообразцы первой и второй групп имели значительное сходство, что свидетельствует о генетической близости современных сортов, несмотря на географическую разобщенность изучаемого материала. Сорта стародавней пшеницы (ландрасы) имеют определенное сходство с современными сортами, однако значительная часть идентифицированных у них генов является оригинальной. Полученные результаты выявили дифференциацию селекционных линий, созданных скрещиванием местных сортов пшеницы и синтетиков на основе *Ae. tauschii*, от других групп образцов изученной выборки. Из 64 использованных маркеров представлены KASP-маркеры, ассоциированные с генами качества зерна, устойчивости к болезням и засухе у изученных сортов и линий пшеницы. «Благоприятный аллель» локуса *Glu-B1* (*Bx7^{DE}*), оказывающий повышенное влияние на хлебопекарное качество, идентифицирован у 16,8 % сортов стародавней пшеницы; 13,0 % сортов питомников ПСИ и КСИ; 3,3 % современных сортов.

Таблица 2. Основные KASP-маркеры, ассоциированные с генами качества зерна, устойчивости к болезням и засухе пшеницы
Table 2. Main KASP-markers associated with grain quality, disease and drought resistance genes

Маркер / ген	Фенотип	Доля образцов с «благоприятным аллелем», %			
		Группа образцов			
		I	II	III	IV
Bx13_SNP / <i>Glu-B1</i>	Высокое хлебопекарное качество	3,3	13,0	16,8	4,2
<i>Glu-D1d</i> _SNP / <i>Glu-D1</i>	«—»	55,7	63,0	16,8	47,4
GCP_DUP / <i>Gpc-B1</i>	Высокое содержание белка в зерне	0	1,9	4,4	0
TaGS-D1_SNP / <i>TaGS-D1</i>	Высокая масса 1000 зерен	69,0	61,1	72,6	53,7
TGW7A_985 / <i>TaTGW-7A</i>	«—»	94,9	50,6	87,6	97,0
TaGASR_IND / <i>TaGASR-A1</i>	«—»	4,4	7,4	4,4	3,2
wMAS000021 / <i>TaSus2-2B</i>	«—»	6,1	13,0	6,2	1,1
wMAS000020 / <i>Tsn1</i>	Устойчивость к септориозу	16,4	37,0	37,2	25,3
Ku_c19185_1569 / <i>Rht8</i>	Короткостебельность	70,9	74,1	64,6	81,5
wMAS000005_sr2 / <i>Sr2</i>	Устойчивость к стеблевой ржавчине	15,9	11,1	26,5	10,5
wMAS000011 / 1BL.1RS	Устойчивость к листовым болезням	23,5	37,0	0	66,3
TaDreb_SNP / <i>TaDreb-B1</i>	Устойчивость к засухе	53,1	27,8	27,4	41,1
fehW3_SNP / <i>1-feh w3</i>	«—»	34,3	50,0	36,2	29,5

Ген *Glu-D1* выявлен у большинства современных сортов и селекционного материала ПСИ/КСИ – 55,7 и 63,0 % соответственно. В современных сортах (I и IV группы) отсутствует ген *Gpc-B1*, контролирующий высокое содержание белка в зерне. Источниками могут служить некоторые ландрасы пшеницы, у которых этот ген выявлен (4,4 % от общего количества), а также отдельные сорта из ПСИ и КСИ Омского ГАУ (1,9 %). Маркеры, сцепленные с генами массы 1000 зерен, вносящими определенный вклад в качество зерна и формирование урожайности, *TaGS-D1* и *TaTGW-7A* детектированы у всех четырех групп изученных образцов – 50,6–97,0 %. Пшенично-ржаная транслокация 1BL.1RS, контролирующая устойчивость к ржавчинным болезням и наличие которой в генотипе сопряжено с низким хлебопекарным качеством, не выявлена в генотипах ландрас, в генотипах современных сортов пшеницы и сортов ПСИ/КСИ, ее доля составляла 23,5–37,0 %. Ген устойчивости к септориозу – у 25,3 % синтетического материала и 37,2 % стародавней пшеницы; ген устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr2* идентифицирован у 26,5 % ландрас и 10,5 % селекционного материала на основе синтетиков. Доля сортов современной селекции, несущих указанные выше гены устойчивости, составила 16,4 и 15,9 % соответственно. Для всех современных сортов пшеницы, ландрас и селекционного материала на основе синтетиков выявлена определенная частота встречаемости генотипов с генами засухоустойчивости: по *TaDreb-B1* – от 27,4 % у ландрас до 53,1 % у сортов современной селекции; по гену *1-feh w3* – от 29,5 % у селекционного материала Омского ГАУ, созданного на основе синтетических линий, до 50 % у сортов из ПСИ и КСИ.

По результатам фенотипирования растений в полевых и лабораторных опытах 2020–2021 гг. проведена оценка четырех групп сортообразцов (табл. 1), что позволило выявить вклад отдельных генов в фенотипическое проявление

признаков продуктивности растений и качества зерна (табл. 3). Математический анализ вклада генов, идентифицированных с использованием KASP-маркеров, показал, что наибольший вклад в продуктивность растений и качество зерна связан с локусами в хромосомах 2D и 4D (маркеры S2D_506778844 и S4D_498573207; гены *TraesCS2D01G395500.1* и *TraesCS4D01G341800.1* соответственно), контролирующими суммарную длину и объем корневой системы, за исключением содержания клейковины в зерне в 2021 году. SNP эффект данных локусов за два года полевых исследований составил 7,29–14,58 г по массе 1000 зерен; 0,41–2,22 т/га по урожайности; 1,28–3,82 % по накоплению белка в зерне и 6,79–12,3 шт. зерен главного колоса (для локуса S2D_506778844). Ген засухоустойчивости *TaDreb-B1* (*TaDreb_SNP*) оказывал положительный эффект на озерненность колоса (3,57 шт.) и урожайность (0,49 т/га), но несущественно снижал содержание белка (–0,46 %) и клейковины (–1,12 %) в зерне в 2021 г., характеризующимся засушливыми условиями вегетации. В условиях засушливого 2021 г. выявлен достоверный вклад гена *TraesCS6D01G117500.1* (S6D_83156449), отвечающего за число продуктивных колосьев на единицу площади, в формирование урожайности (0,52 т/га) и массы 1000 зерен (4,76 г).

Положительный вклад в накопление белка в зерне (0,86–2,16 %) отмечен по гену *GPC-B1* (wMAS000017) и локусу *TraesCS2D01G316300.1* (S2D_405601286), отвечающим за накопление сухой биомассы в генеративной части растения (Кхоз. колоса); по гену *TraesCS2A01G506900.1* (S2A_734585818), контролирующему морфометрические параметры зерновки – по накоплению белка (2,09 %) и клейковины в зерне (5,30 %) в 2021 году. Лучшие линии яровой пшеницы селекции Омского ГАУ, выделенные по результатам отбора с помощью KASP-маркеров, представлены в таблице 4.

Таблица 3. KASP-маркеры, ассоциированные с генами продуктивности и качества зерна, их вклад в фенотипическое проявление признаков, 2020–2021 гг.
Table 3. KASP-markers associated with grain productivity and quality genes, their contribution to the phenotypic manifestation of traits, 2020–2021

Маркер	Хромосома	Критерий Стьюдента (p)	SNP-эффект	Критерий Стьюдента (p)	SNP-эффект
		2020 г.		2021 г.	
Число зерен в колосе (шт.)					
TaDreb_SNP	3B	–	–	0,001	3,57
S2D_506778844*	2D	0,048	6,79	0,015	12,3
S4D_498573207	4D	–	–	0,015	6,13
Масса 1000 зерен (г)					
S2D_405601286	2D	0,016	9,26	–	–
S2D_506778844*	2D	0,016	13,20	0,037	14,6
S4D_498573207*	4D	0,001	12,72	0,037	7,29
S6D_83156449	6D	–	–	0,015	4,76
Урожайность (т/га)					
wMAS000021	2B	0,050	0,22	–	–
TaDreb_SNP	3B	–	–	0,01	0,49
S2D_506778844*	2D	0,040	0,62	0,01	2,22
S4D_498573207*	4D	0,050	0,41	0,01	1,11
S6D_83156449	6D	–	–	0,02	0,52
Содержание белка в зерне (%)					
S2A_734585818	2A	–	–	0,004	2,09
TaDreb_SNP	3B	–	–	0,027	–0,46
wMAS000017*	6B	0,001	1,21	0,013	0,86
S2D_405601286*	2D	0,002	1,24	0,002	2,16
S2D_506778844*	2D	0,032	1,28	0,001	3,82
S4D_498573207*	4D	0,001	1,81	0,001	1,91
Содержание клейковины в зерне (%)					
S2A_734585818	2A	–	–	0,0030	5,30
TaDreb_SNP	3B	–	–	0,0124	–1,12
wMAS000017	6B	0,001	2,39	–	–
S2D_405601286	2D	0,010	2,05	–	–
S4D_498573207	4D	0,026	2,31	–	–

Примечание. * – локусы, для которых выявлены достоверно значимые ассоциации за два года.

Таблица 4. Характеристика перспективных линий, выделенных с помощью KASP-маркеров, КСИ, в среднем за 2020–2021 гг.
Table 4. Characteristics of promising lines identified with KASP-markers, CVT, mean in 2020–2021

Сорт, линия	Родословная	Белок, %	Клейковина, %	Урожайность, т/га	Идентифицированные гены
Среднеранние					
Памяти Азиева, St	–	17,1	31,5	2,90	<i>Glu-D1</i>
Лютесценс 34-16	Omskaya 36 / Bavis // Tertsiya	16,8	29,3	3,09*	<i>TaDreb-B1, Glu-D1, Wsm2, CmcTAM112, Lr14a, Lr37, Sr9b</i>
Лютесценс 34-17	Lutescens 210.99.10 /3/ SRN / Ae.sq. (358) // Milan / SHA7 /4/ Chelyaba yubileynaya	17,2	33,3	3,16*	<i>TaDreb-B1, 1BL.1RS, Glu-D1, Wsm2, Lr21, Sr9b, Sr11</i>
HCP ₀₅		1,03	3,69	0,13	
Среднепоздние					
Дуэт, St	–	16,7	31,0	3,16	<i>Glu-D1, Sr33</i>
Лютесценс 81-17	Eritropermum 55-94-01-20 /5/ PYN / BAU /3/ MON / IMU // ALD / PVN /4/ VEE#5 / Sara // Ducuka /6/ Fiton 42	17,1	31,6	3,11	<i>Glu-D1, 1BL.1RS, Wsm2, Lr14a, Lr21, Sr9b, Sr11</i>
Лютесценс 89-18	GLE /3/ KA / NAC // TRCH /4/ Omskaya 37 / Lutescens 241-00-4	17,9*	33,3*	3,03	<i>Glu-D1, 1BL.1RS, Wsm2, Rht8, Lr16, Lr34, Sr9b, Sr11</i>
HCP ₀₅		0,74	1,98	0,15	

Окончание табл. 4

Сорт, линия	Родословная	Белок, %	Клейковина, %	Урожайность, т/га	Идентифицированные гены
Среднепоздние					
Элемент 22, St	–	18,8	36,7	3,02	<i>TaDreb-B1</i> , 1BL.1RS, <i>Lr21</i> , <i>Sr35</i>
Лютесценс 62-19	Tulaikovskaya 5 / Tulaikovskaya belozyornaya	18,2	34,3	3,34*	<i>TaDreb-B1</i> , <i>Glu-D1</i> , 1BL.1RS, <i>Wsm2</i> , <i>CmcTAM112</i> , <i>Tsn1</i> , <i>Rht8</i> , <i>LrCen</i> , <i>Lr14a</i> , <i>Lr21</i> , <i>Sr9b</i> , <i>Sr33</i>
Лютесценс 70-19	Lutescens 210.99.10 /3/ KA / NAC // TRCH /4/ Altaskaya 530	17,8	35,1	3,02	1BL.1RS, <i>Rht8</i> , <i>Wsm2</i> , <i>Lr14a</i> , <i>Lr21</i> , <i>Lr34</i> , <i>Sr2</i> , <i>Sr9b</i> , <i>Sr11</i>
HCP ₀₅		1,19	2,94	0,16	

Примечание. * – превышение над стандартом.

Сорта получены в рамках программы челночной селекции методом сложных ступенчатых скрещиваний с участием образцов из генбанка CIMMYT. У большинства выделенных линий присутствует в генотипе пшенично-ржаная транслокация 1BL.1RS, часто встречающаяся в родословных местных сортов, использованных для повышения адаптивности сортов челночной селекции. Аллель гена *Glu-D1* (5+10), обуславливающий более высокую балльную оценку хлебопекарного качества, также широко распространен у сортов КСИ, включая стандарты Памяти Азиева и Дуэт. С помощью KASP-маркеров отобраны сорта с пирамидой генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине: *LrCen*, *Lr14a*, *Lr16*, *Lr21*, *Lr34*, *Sr2*, *Sr11*, *Sr9b*, *Sr33*; к вирусу полосатой мозаики пшеницы (ВПМП) – *Wsm2* и к переносчику этого вируса (клещу *Aceria tulipae*) – *CmcTAM112*. В условиях жесткой засухи выделенные сорта формировали урожайность >3,0 т/га, имели высокое содержание белка (16,8–18,2 %) и клейковины – 29,3–35,1 %. Эффективный для Западной Сибири ген засухоустойчивости *TaDreb-B1* детектирован у среднеранних сортов Лютесценс 34-16, Лютесценс 34-17 и среднепозднего сорта Лютесценс 62-19, которые достоверно превосходили стандарты по урожайности на 0,19–0,32 т/га.

Выводы. Платформы генотипирования KASP-маркеров большого количества сортов яровой мягкой пшеницы современной селекции из различных регионов России, Казахстана и США имели значительное сходство, что свидетельствует об их генетической близости, несмотря на географическую разобщенность, это означает уязвимость зернового производства в случае масштабных эпифитотий и засухи. Предпочтительный для хлебопекарного качества гаплотип *Glu-D1* (5+10) – 55,7–63,0 %; гаплотипы *TaGS-D1a* и *TaTGW-7Aa*, связанные с высокой массой 1000 зерен, – 50,6–94,9%; гаплотипы *TaDreb-B1a* и «*Westonia type*», связанные с повышенной засухоустойчивостью, – 27,8–53,1 %; гаплотип *Rht8c* – 70,9–74,1 %, снижающий вы-

соту растения, преобладают в генотипах современных сортов пшеницы и селекционном материале Омского ГАУ (группы образцов I и II). Это свидетельствует о целенаправленном пирамидировании ценных аллелей в генотипе современных сортов и давлении искусственного отбора на благоприятные гаплотипы в процессе селекции.

Отмечено достоверное влияние параметров корневой системы (гены *TraesCS2D01G395500.1* и *TraesCS4D01G341800.1* в хромосомах 2D и 4D) на увеличение крупности зерна и урожайности; гена засухоустойчивости *TaDreb-B1* – на увеличение озерненности колоса и урожайности. В повышение питательной ценности зерна и накопление белка в зерне существенный вклад вносили гены *GPC-B1* и *TraesCS2D01G316300.1*, отвечающие за ремобилизацию азота, накопление белка и сухой биомассы в зерне. Эти и другие гены с достоверными положительными эффектами целесообразно пирамидировать в генотипах сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Западно-Сибирского региона.

Сорта, выделенные по результатам отбора с помощью KASP-маркеров, испытываются в КСИ: с пирамидой генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине – Лютесценс 81-17, Лютесценс 89-18, Лютесценс 70-19; с геном засухоустойчивости *TaDreb-B1*, достоверно превышающие стандарты по урожайности – Лютесценс 34-16, Лютесценс 34-17, Лютесценс 62-19.

Финансирование. Полевые исследования проведены при поддержке Министерства сельского хозяйства РФ; определение качества зерна – при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-534 от 28.05.2021 г.); анализ структуры урожая стародавних сортов пшеницы и статистическая обработка экспериментальных данных – при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 22-16-20008 от 23.03.2022 г.).

Библиографические ссылки

1. Гончаров Н.П., Гончаров П.Л. Методические основы селекции растений. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2009. 427 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5 издание, перераб. и доп., стереотип. изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отмахова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно–мука–хлеб» // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 20 (4). С. 511–527. DOI: 10.18699/VJ15.140.
4. Шаманин В.П., Шепелев С.С., Пожерукова В.Е., Потоцкая И.В., Кочерина Н.В., Lohwasser U., Börner A., Чесноков Ю.В. Картирование QTL у гексаплоидной мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях Западно-Сибирской равнины // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, № 1. С. 50–60. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.50rus.
5. Шаманин В.П., Шепелев С.С., Потоцкая И.В., Чурсин А.С., Пожерукова В.Е., Кузьмин О.Г., Гладких М.С., Моргунов А.И. Гексаплоидные синтетики и эффективные гены для селекции пшеницы в условиях Западной Сибири. Омск: Изд-во Омского ГАУ, 2021. 172 с.
6. Gautam T., Dhillon G.S., Saripalli G., Rakhi, Singh V.P., Prasad P., Kaur S., Chhuneja P., Sharma P.K., Balyan H.S., Gupta P.K. Marker-assisted pyramiding of genes/QTL for grain quality and rust resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Mol. Breeding. 2020. Vol. 40, P. 49. DOI: 10.1007/s11032-020-01125-9.
7. Gupta P.K., Balyan H.S., Chhuneja P., Jaiswal J.P., Tamhankar S. et al. Pyramiding of genes for grain protein content, grain quality and rust resistance in eleven Indian bread wheat cultivars: A multi-institutional effort // Molecular Breeding. 2022. Vol. 42, № 4. Article number: 21. DOI: 10.1007/s11032-022-01277-w.
8. Kuchel H., Langridge P., Mosione L., Williams K., Jefferies S.P. The genetic control of milling yield, dough rheology and baking quality of wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2006. Vol. 112, P. 1487–1495. DOI: 10.1007/s00122-006-0252-z.
9. Li C-X, Xu W-G, Guo R., Zhang J-Z, Qi X-Li, Hu L., Zhao M-Z. Molecular marker assisted breeding and genome composition analysis of Zhengmai 7698, an elite winter wheat cultivar // Scientific Reports. 2018. Vol. 8, Article number: 322. DOI: 10.1038/s41598-017-18726-8.
10. Li S., Zhang C., Li J., Yan L., Wang N., Xia L. Present and future prospects for wheat improvement through genome editing and advanced technologies // Plant Comm. 2021. Vol. 2(4), P. 100211. DOI: 10.1016/j.xplc.2021.100211.
11. Rasheed A., Wen W., Gao F., Zhai S., Jin H., Liu J., Guo Q., Zhang Y., Dreisigacker S., Xia X., He Z. Development and validation of KASP assays for functional genes underpinning key economic traits in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2016. Vol. 129, P. 1843–1860. DOI: 10.1007/s00122-016-2743-x.
12. Rasheed A., Xia X. From markers to genome-based breeding in wheat // Theor. Appl. Genet. 2019. Vol. 132, Article number: 767784. DOI: 10.1007/s00122-019-03286-4.
13. Ravel C., Faye A., Ben-Sadoun S., Ranoux M., Dardevet M., Dupuits C., Exbrayat F., Poncet C., Sourdil P., Branlard G. SNP markers for early identification of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GSs) in bread wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2020. Vol. 133, P. 751–770. DOI: 10.1007/s00122-019-03505-y.
14. Shchukina L.V., Lapochkina I.F., Pshenichnikova T.A. Phenotypic diversity of bread wheat lines with introgressions from the diploid cereal *Aegilops speltoides* for technological properties of grain and flour // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24(7), P. 738–746. DOI: 10.18699/VJ20.668.
15. Tabbita F., Pearce S., Barneix Atilio J. Breeding for increased grain protein and micronutrient content in wheat: Ten years of the GPC-B1 gene // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 1, P. 183–191. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.01.003.

References

1. Goncharov N.P., Goncharov P.L. Metodicheskie osnovy seleksii rastenii [Methodological basis of plant breeding]. Novosibirsk: Izd-vo «Geo», 2009. 427 s.
2. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5 izdanie, pererab. i dop., stereotip izd. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Khlestkina E.K., Pshenichnikova T.A., Usenko N.I., Otmakhova Yu.S. Perspektivnye vozmozhnosti ispol'zovaniya molekulyarno-geneticheskikh podkhodov dlya upravleniya tekhnologicheskimi svoystvami zerna pshenitsy v kontekste tsepochki «zerno–muka–khleb» [Promising possibilities of using molecular genetic approaches to control the technological properties of wheat grain in the context of the “grain–flour–bread” chain] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2016. № 20 (4). S. 511–527. DOI: 10.18699/VJ15.140.
4. Shamanin V.P., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Pototskaya I.V., Kocherina N.V., Lohwasser U., Börner A., Chesnokov Yu. V. Kartirovanie QTL u geksaploidnoi myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) v usloviyakh Zapadno-Sibirskoi ravniny [QTL mapping in hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in the conditions of the West Siberian Plain] // Sel'skokhozyaistvennaya biolo-giya. 2018. T. 53, № 1. S. 50–60. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.50rus.
5. Shamanin V.P., Shepelev S.S., Pototskaya I.V., Chursin A.S., Pozherukova V.E., Kuz'min O.G., Gladkikh M.S., Morgunov A.I. Geksaploidnye sintetiki i effektivnye geny dlya seleksii pshenitsy v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Hexaploid synthetics and effective genes for wheat breeding in the Western Siberia]. Omsk: Izd-vo Omskogo GAU, 2021. 172 s.

6. Gautam T., Dhillon G.S., Saripalli G., Rakhi, Singh V.P., Prasad P., Kaur S., Chhuneja P., Sharma P.K., Balyan H.S., Gupta P.K. Marker-assisted pyramiding of genes/QTL for grain quality and rust resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Mol. Breeding*. 2020. Vol. 40, P. 49. DOI: 10.1007/s11032-020-01125-9.
7. Gupta P.K., Balyan H.S., Chhuneja P., Jaiswal J.P., Tamhankar S. et al. Pyramiding of genes for grain protein content, grain quality and rust resistance in eleven Indian bread wheat cultivars: A multi-institutional effort // *Molecular Breeding*. 2022. Vol. 42, № 4. Article number: 21. DOI: 10.1007/s11032-022-01277-w.
8. Kuchel H., Langridge P., Mosionek L., Williams K., Jefferies S.P. The genetic control of milling yield, dough rheology and baking quality of wheat // *Theoretical and Applied Genetics*. 2006. Vol. 112, P. 1487–1495. DOI: 10.1007/s00122-006-0252-z.
9. Li C-X, Xu W-G, Guo R., Zhang J-Z, Qi X-Li, Hu L., Zhao M-Z. Molecular marker assisted breeding and genome composition analysis of Zhengmai 7698, an elite winter wheat cultivar // *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8, Article number: 322. DOI: 10.1038/s41598-017-18726-8.
10. Li S., Zhang C., Li J., Yan L., Wang N., Xia L. Present and future prospects for wheat improvement through genome editing and advanced technologies // *Plant Comm.* 2021. Vol. 2(4), Article number: 100211. DOI: 10.1016/j.xplc.2021.100211.
11. Rasheed A., Wen W., Gao F., Zhai S., Jin H., Liu J., Guo Q., Zhang Y., Dreisigacker S., Xia X., He Z. Development and validation of KASP assays for functional genes underpinning key economic traits in wheat // *Theoretical and Applied Genetics*. 2016. Vol. 129, P. 1843–1860. DOI: 10.1007/s00122-016-2743-x.
12. Rasheed A., Xia X. From markers to genome-based breeding in wheat // *Theor. Appl. Genet.* 2019. Vol. 132, Article number: 767784. DOI: 10.1007/s00122-019-03286-4.
13. Ravel C., Faye A., Ben-Sadoun S., Ranoux M., Dardevet M., Dupuits C., Exbrayat F., Poncet C., Sourdille P., Branlard G. SNP markers for early identification of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GSs) in bread wheat // *Theoretical and Applied Genetics*. 2020. Vol. 133, P. 751–770. DOI: 10.1007/s00122-019-03505-y.
14. Shchukina L.V., Lapochkina I.F., Pshenichnikova T.A. Phenotypic diversity of bread wheat lines with introgressions from the diploid cereal *Aegilops speltoides* for technological properties of grain and flour // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24(7), P. 738–746. DOI: 10.18699/VJ20.668.
15. Tabbita F., Pearce S., Barneix Atilio J. Breeding for increased grain protein and micronutrient content in wheat: Ten years of the GPC-B1 gene // *Journal of Cereal Science*. 2017. Vol. 1, P. 183–191. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.01.003.

Поступила: 30.01.23; доработана после рецензирования: 19.02.23; принята к публикации: 19.02.23.

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

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шепелев С.С. – выполнение полевых опытов, сбор данных, математическая обработка; Потоцкая И.В. – анализ данных, обзор литературы и написание статьи; Чурсин А.С. – проведение полевых исследований; Моргунов А.И. – подбор коллекции пшеницы, систематизация результатов опытов; Шаманин В.П. – концептуализация и интерпретация результатов исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЯРОВОЙ ШАРОЗЕРНОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА САКАРА

Данил Ф. Асхадуллин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции яровой пшеницы, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2606-6735;

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;

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

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

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

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

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

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

В статье представлены метод создания сорта яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum* Percival) Сакара и его характеристика. Целью исследований было показать эффективность проводимой селекционной работы с шарозерной пшеницей на примере сорта Сакара на увеличение зерновой продуктивности и устойчивости к листовым грибным болезням при сохранении высокого качества зерна, свойственного шарозерным пшеницам. Методики исследований были адаптированы для шарозерной пшеницы на основании методик, принятых в селекции яровой мягкой пшеницы. Созданный сорт имеет свойственные виду черты – стебель короткий, прочный, неполегающий и, как следствие, устойчивость к полеганию не ниже 9 баллов, шаровидную форму зерновки при массе тысячи зерен 25,6 г, плотный, не поникающий колос, отличные качественные показатели зерна и муки, по большинству показателей соответствующих ГОСТ 34702-2020 на сильную пшеницу. Вид *T. sphaerococcum* ввиду характерных морфологических особенностей отличается меньшей зерновой продуктивностью, чем *T. aestivum*, урожайность сорта Сакара в среднем за три года испытаний на 34 % меньше, чем у стандартного сорта яровой мягкой пшеницы Йолдыз. Показано, что созданный сорт в нашей почвенно-климатической зоне характеризуется высокой полевой устойчивостью к мучнистой росе (устойчивость в среднем по годам составила 2 балла), бурой ржавчине (отмечались лишь единичные пустулы в годы сильного распространения заболевания). При искусственном заражении семян инкулиумом твердой головки степень поражения сорта этим заболеванием в среднем составила 7 %. Первый в Государственном реестре селекционных достижений сорт яровой шарозерной пшеницы Сакара рекомендован с 2023 г. для возделывания с первого по 12-й регионы.

Ключевые слова: *Triticum sphaerococcum*, селекция, качество, болезни, устойчивость.

Для цитирования: Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н. З., Тазутдинова М. Р., Хусаинова И. И., Гайфуллина Г. Р., Кириллова Е. С., Идиатова Р. Х. Характеристика яровой шарозерной пшеницы Сакара // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 26–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-26-33.



CHARACTERISTICS OF THE INDIAN DWARF WHEAT VARIETY 'SAKARA'

Danil F. Askhadullin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring wheat breeding, trulik@ya.ru, ORCID ID: 0000-0002-2606-6735;

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;

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

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

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

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

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

Tatar Research Institute of Agriculture, a separate structural subdivision of the FRC Kazan Research Center RAS, 420059, Republic of Tatarstan, Kazan, Orenburgsky Trakt Str., 48

The current paper has described the method of developing a spring shot wheat variety (*Triticum sphaerococcum* Percival) Sakara and its characteristics. The purpose of the current study was to show the efficiency of the ongoing breeding work with Indian dwarf, using the variety 'Sakara' as an example, to increase grain productivity and resistance to leaf-stem fungal diseases, while maintaining the high grain quality characteristic of shot wheats. Research methods were adapted for shot wheat based on the methods adopted in spring bread wheat breeding. The developed variety has features characteristic for a species, namely a short strong non-lodging stem and, as a result, 9 points of lodging resistance; a shot kernel shape with 25.6 g of 1000-grain weight; a dense, non-drooping head; excellent quality indicators of grain and flour, according to most indicators corresponding to GOST 34702-2020 for strong wheat. The *T. sphaerococcum* species, due to its characteristic morphological features, has a lower grain productivity than *T. aestivum*, mean productivity of the variety 'Sakara' for three years of testing was 34 % less than that of the standard spring bread wheat variety 'Yoldyz'. There has been shown that the developed variety in our soil-climatic zone is characterized by high field resistance to powdery mildew (2 points of resistance on average over the years), leaf rust (there were only single pustules during the years of a strong spread of the disease). With artificial infection of seeds with the inoculum of hard smut, the damage degree of the variety averaged 7 %. The first spring shot wheat variety 'Sakara' has been recommended in the State List of Breeding Achievements since 2023 for cultivation from 1 to 12 regions.

Keywords: *Triticum sphaerococcum*, breeding, quality, diseases, resistance.

Введение. *Triticum sphaerococcum* Percival – голозерный гексаплоидный вид пшеницы, отличительными признаками которого являются сферическая форма зерновки, плотный, не поникающий колос, невысокое компактное растение. Шарозерная пшеница считается древнейшей злаковой культурой. В археологических раскопках слоев эпохи неолита в районе Альпийских озер, проведенных Освальдом Хииром и последующими исследователями, были обнаружены мелкие круглые зерна пшеницы. На основе этого был сделан вывод, что в тот период пшеница со сферической формой зерновки была основным хлебным злаком (Eberwein, 2019). *T. sphaerococcum* сохранялся в земледелии на полуострове Индостан (Пенджаб), а также в соседних исторических областях Агра и Ауд до XX века. Кроме того, Ellerton указывал на еще более широкое распространение данного вида в Индостане – Синд, Восточный Белуджистан и на территории нынешнего штата Индии Мадья-Прадеш (Ellerton, 1939). В настоящее время вид *T. sphaerococcum* в местах обнаружения не возделывается. Прекращение возделывания шарозерной пшеницы в Индии совпадает с началом «зеленой революции», при которой произошла полная сортовая диверсификация пшеницы в сторону высокоурожайных интенсивных яровых мягких пшениц.

Несмотря на то что шарозерная пшеница обладает меньшей урожайностью, чем мягкая и твердая пшеницы, она характеризуется превосходными качественными показателями зерна и муки (Gupta et al., 2021, Кулеватова и др., 2021).

Уникальной особенностью зерна шарозерной пшеницы является высокое накопление фенольных кислот и алкилрезорцинов с множеством полезных для здоровья свойств, поэтому она может быть рекомендовано в качестве добавки при производстве хлебобулочных и макаронных изделий, круп, экструдатов (Skrajda-Brdak et al., 2020).

В связи с комплексом полезных свойств у *T. sphaerococcum* селекционная работа с этим видом активизировалась в некоторых селекционных учреждениях. В России широко представлены сорта озимой шарозерной пшеницы

НЦЗ им. П.П. Лукьяненко. В Польше набирает популярность выведенный консорциумом «Ancient grain» сорт яровой шарозерной пшеницы Trispa.

Формирование округлой зерновки у *T. sphaerococcum* обусловлено наличием либо встречающимся в природе геном «округлозерности» *s1*, локализованным в хромосоме 3D, либо одним или блоком генов с не полностью доминирующим эффектом, индуцированные мутагенезом, особенно химическими мутагенами, нейтронами и рентгеновскими лучами, которые могут быть локализованы также в геноме A и B (Salina et al., 2000). Ген *s1* (синонимы: *S-D1b*, *Tasg-D1*) детерминирует шарозерность у образцов шарозерной пшеницы Индии и Пакистана и двух образцов, отнесенных к виду *T. antiquorum* (McIntosh et al., 2000). Ген *s1* влияет не только на формирование округлой зерновки, но и на совокупность признаков, формирующихся в процессе развития и наследуемых как единое целое: это жесткая короткая соломина, эректоидный флаговый лист, плотный колос, полусферическая колосковая и цветковая чешуи (Salina et al., 2000). Биологическая основа развития круглого зерна у пшеницы *T. sphaerococcum* в значительной степени не была известна. Cheng с соавторами использовали позиционное клонирование для идентификации и функциональной характеристики гена, связанного с формой зерна, обозначенного *Tasg-D1*, вблизи центромеры хромосомы 3 генома D *T. sphaerococcum*. Функциональная характеристика показала, что *Tasg-D1* представляет собой серин/треонинпротеинкиназу гликогенсинтазы киназы 3 (GSK-3). Экспрессия белка GSK нарушает удлинение семян, заставляя растения производить круглые зерна (Cheng et al., 2020).

Цель исследований – показать эффективность проводимой селекционной работы с шарозерной пшеницей на примере сорта Сакара на увеличение зерновой продуктивности и устойчивости к листовостебельным грибным болезням при сохранении высокого качества зерна, собственного шарозерным пшеницам.

Материалы и методы исследований. Объектами исследования служили: сорт яровой мягкой пшеницы Йолдыз (стандарт

для зоны) и сорт яровой шарозерной пшеницы Сакара. Полевые исследования проводили в селекционном севообороте экспериментальной базы Татарского НИИСХ (Лаишевский район, Республика Татарстан). Почва опытных участков серая лесная, тяжелосуглинистая, средне гумусированная, типичная для зоны, реакция почвенного раствора близкая к слабнокислой. Основным методом создания селекционного материала служила межвидовая гибридизация яровой мягкой пшеницы с шарозерной пшеницей. Опыление проводили твел-методом. Движение селекционного материала по питомникам традиционное в селекции яровой мягкой пшеницы с незначительными изменениями (Askhadullin et al., 2021). Результаты испытания сорта в работе приведены за 2020–2022 гг., сорт размещен в питомнике экологического сортоиспытания, площадь делянок 10 м², повторность 4-кратная, норма высева – 6 млн всх. семян/га. Предшественником в 2020 г. была горчица белая на семена, в 2021 г. – фацелия на семена, в 2022 г. – яровая мягкая пшеница.

Степень устойчивости к ржавчинным грибам определяли на естественном инфекционном фоне по шкале Петерсона с соавторами (Peterson et al., 1948), для оценки развития мучнистой росы пшеницы использовали шкалу, предложенную Саари и Прескоттом (Saari and Prescott, 1975). Оценку на устойчивость к твердой головне проводили на изолированном участке с заражением семян перед посевом сборным иноклиумом, по пятибалльной шкале, описанной ранее (Асхадуллин и др., 2022).

Анализ зерна и хлебопекарная оценка были проведены в отделе аналитических исследований Татарского НИИСХ с использованием приборов ЦКП. Экспресс-анализ зерна на содержание белка и клейковины провели с помощью инфракрасного анализатора Infratec 1275 (FOSS, Дания). Содержание белка в зерне определяли по количеству белкового азота на автоматическом анализаторе UDK 152 (VELP Scientifica, Италия) (ГОСТ 10846-91). Натуру зерна определяли на пурке объемом 1 л (ГОСТ 10840), стекловидность – на диафаноскопе (ГОСТ 10987-76).

Количество клейковины определяли методом ручной отмывки, качество клейковины – на приборе ИДК-1 (Россия) (ГОСТ Р 54478-2011). Число падения по ГОСТ ISO 3093-2016 – с использованием прибора Pertern FN 1500 (Pertern, Швеция). Реологические свойства теста оценивались на приборе альвеограф NG (Chopin Technologies, Франция) (ГОСТ Р 51415-99) и фаринограф Е (Brabender GmbH & Co KG, Германия) (ГОСТ ISO 5530-1-2013). Хлебопекарную оценку проводили методом пробной лабораторной выпечки подового и формового хлеба (ГОСТ 27669-88).

Погодные условия в 2020 и 2022 гг. были типичными для лесостепной зоны Поволжья. 2021 г. отличался повышенными температурами в летний период и низкой суммой осадков, ГТК Селянинова за май–июль составил 0,31 – условия засухи. Такие погодные условия сказались на урожайности растений.

Результаты и их обсуждение. Основной интерес в шарозерной пшенице вызывают высочайшее качество ее зерна и муки, короткостебельность. Вид имеет отрицательные свойства, главные из которых – низкая зерновая продуктивность, сильная восприимчивость к грибным болезням и недостаточная засухоустойчивость.

В 2023 г. был допущен к использованию в 12 регионах РФ сорт яровой шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum* Percival) Сакара.

Сорт выведен путем межвидовой гибридизации линии яровой мягкой пшеницы с образцом яровой шарозерной пшеницы коллекции ВИР. Гибридизация была проведена в 2011 г., в качестве материнской формы была взята линия первого гибридного поколения К-350/10, при полевой оценке невосприимчивая к мучнистой росе и бурой ржавчине, в качестве отцовской формы выбран образец шарозерной пшеницы из коллекции Всероссийского института растениеводства (ВИР) К-45738, происхождение из Пакистана. Отбор элитного растения был проведен в F₃, уровень константности по фенотипу у отобранного растения был высоким (рис. 1).

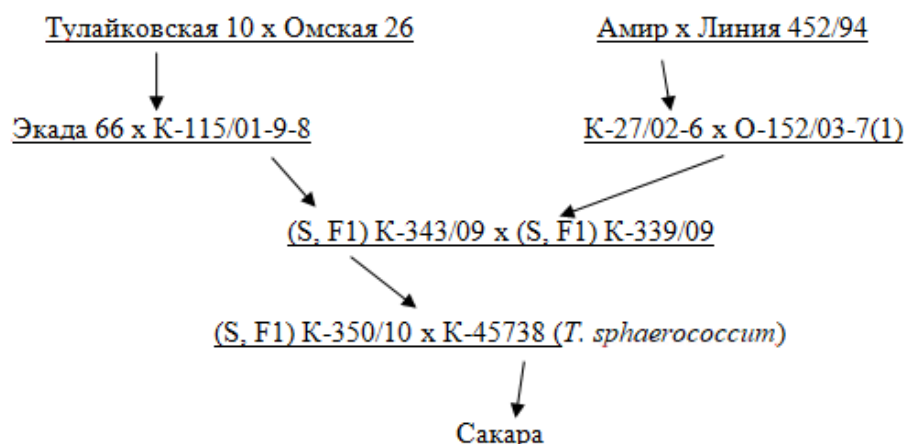


Рис. 1. Генеалогия сорта яровой шарозерной пшеницы Сакара
Fig. 1. Genealogy of the spring shot wheat variety 'Sakara'

Разновидность у сорта *rotundatum* Perciv. Куст прямостоячий, растение низкорослое, стебель средней толщины, прочный, устойчивый к полеганию, соломина выполнена слабо. Восковой налет на листьях и колосе слабый. Колос белый, веретеновидный, короткий

(4–6 см), плотный, остевидные отростки отсутствуют. Плечо у нижней колосковой чешуи прямое, широкое; зубец у цветковой чешуи короткий, слегка изогнут. Зерновка красная сферическая с глубокой бороздкой (рис. 2)



Рис. 2. Колосья, зерно, колосковая и цветковая чешуя яровой шарозерной пшеницы Сакара
Fig. 2. Heads, grain, spikelet and flower bran of the spring shot wheat 'Sakara'

Зерновая продуктивность сорта Сакара уступает стандарту для яровой мягкой пшеницы Йолдыз в среднем на 1,21 т/га (34 %). Максимальная урожайность отмечена в 2022 г. – 3,93 т/га. Масса 1000 зерен в среднем составила 25,6 г. Озерненность колоса была близкой к яровой мягкой пшенице Йолдыз и составила в среднем 22,9 шт. на колос. В нашей почвенно-климатической зоне яровая мягкая пшеница формирует урожай преимущественно за счет главного побега, и продуктивная кустистость не вносит значительного вклада в урожайность, такая же тенденция прослеживается и по яровой шарозерной пшенице – формируются в основном однопобеговые растения. Сорт Сакара отличается небольшой высотой растения (56,9 см) и, как следствие, высокой устойчивостью к полеганию. Новый сорт, несмотря на значительное распространение

мучнистой росы в посевах пшеницы, во все годы испытания был слабовосприимчив к этому заболеванию – устойчивость в среднем составила 2 балла, отмечалось незначительное поражение нижней трети растения. Сакара отличается полевой устойчивостью к бурой ржавчине, имелись единичные небольшие пустулы на нижнем ярусе листьев. Сорт сильно восприимчив к стеблевой ржавчине, в годы проявления болезни степень поражения составляет 60 %. К твердой головне при искусственном заражении сорт слабовосприимчив, степень поражения в среднем за три года составила 7 %. По срокам созревания сорт отнесен к среднепоздней группе сортов, созревает одновременно с среднепоздним сортом яровой мягкой пшеницы Балкыш, период вегетации составил в среднем 78 дней (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика яровой шарозерной пшеницы Сакара, 2020–2022 гг.
Table 1. Characteristics of the spring shot wheat variety 'Sakara', 2020–2022

Показатель	Сакара	Йолдыз, st.
Средняя урожайность, т/га	2,35	3,56
Урожайность (min...max), т/га	0,57–3,93	1,50–5,68
Масса 1000 зерен, г	25,6	36,2
Количество зерен в колосе, шт.	22,9	22,1
Продуктивная кустистость, шт.	1,04	1,02
Высота растения, см	56,9	66,9
Полегание, балл устойчивости (максим. 9)	9	6,5
Количество дней от всходов до полной спелости	78	72
Мучнистая роса, балл устойчивости	2	5
Бурая ржавчина, степень поражения, %	Ед.	15
Стеблевая ржавчина, степень поражения, %	35	55
Твердая головня, степень поражения, %	7	60

Примечание. Ед. – единичные пустулы.

Многие авторы, изучающие качественные показатели зерна и муки у шарозерных эндемичных образцов из коллекции ВИР, указывают на превосходное качество этих образцов. Сорт шарозерной пшеницы Сакара унаследовал высокое качество зерна от шарозерного образца ВИР К-45738. По большинству показателей, характеризующих технологические качества зерна, сорт Сакара соответствует требованиям ГОСТ 34702-2020 на сильную пшеницу. Стекловидность зерна – показатель, сильно зависящий от плодородия почвы и погодных условий при уборке – в среднем за три года у сорта Сакара, несмотря на достаточное плодородие и относительно хорошие условия уборки, соответствовала только уровню ценной пшеницы. Натура зерна – важная характеристика заготавливаемого зерна, она была выше классификационной нормы на сильную пше-

ницу и составила в среднем за три года 782 г/л, коэффициент вариации указывает на стабильность этого показателя по годам. Содержание белка и клейковины в зерне – один из самых информативных показателей качественных характеристик сорта. Содержание в зерне белка не опускалось ниже 16 % при норме на сильную пшеницу 13,5 %. Этот показатель также мало изменялся от условий выращивания. Содержание клейковины в зерне во все годы было высоким и в среднем составило 35,5 % (коэффициент вариации 16 %). Качество клейковины (определяемое на приборе ИДК-1), указывающее на изменение деформации образца клейковины под нагрузкой, изменялась по годам от хорошей до удовлетворительно, но в пределах ограничительных норм на сильную пшеницу – от 43 до 85 единиц (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика технологических качеств зерна
Table 2. Characteristics of the technological qualities of grain

Год	Общая стекловидность, %	Натура зерна, г/л	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	ИДК-1, ед. приб.
Йолдыз, стандарт					
2020	46	747	10,6	18,1	91
2021	46	788	11,6	20,4	85
2022	53	830	13,9	29,7	52
среднее	48	788	12,0	22,7	76
Cv, %	8	5	14	27	28
Сакара					
2020	51	756	16,0	29,4	61
2021	50	780	16,3	36,3	85
2022	54	809	17,1	40,8	78
среднее	52	782	16,5	35,5	75
Cv, %	4	3	3	16	17

Примечание. Cv – коэффициент вариации.

Классификационные нормы, характеризующие хлебопекарные качества, учитывают и реологические свойства теста, которые определяли с помощью приборов фаринограф Е и альвеограф NG. Разжижение теста и водопоглотительную способность определяли на фаринографе. Показатель разжижения теста указывает на подвижность теста при замесе, этот показатель для сильных пшениц не должен превышать 70 е.ф. У сорта Сакара эта величина в 2022 г. составила 7 е.ф., а по другим годам не поднималась выше 28 е.ф. (коэффициент вариации значительный – 57 %). Водопоглотительная способность (ВПС) – показатель, указывающий на количество воды, требуемой для образования определенной консистенции теста. При выпечке хлеба, согласно данным ВПС, рассчитывается требуемое количество воды на замес. Для получения хорошего объема хлеба этот показатель должен быть для сильной пшеницы не ниже 63 %. У сорта Сакара в 2020 и 2021 гг. водопоглощение соответствовало сильной пшенице, а в 2022 г. только сортам-филлерам – 57 %. В 2022 г. низкий показатель ВПС был характерен для всех

высококачественных сортов яровой мягкой пшеницы.

Силу муки, упругость теста и показатель P/L определяли на альвеографе. Действие прибора основано на имитации подъема теста при брожении путем надувания пузыря из образца теста. Сила муки, или энергия деформации теста – традиционный комплексный показатель, отражающий упруго эластичные свойства теста. Этот показатель значительно превышал у сорта Сакара классификационные требования сильную пшеницу и не опускался за три года ниже 369 единиц альвеографа Шопена. Сила муки у Сакары по годам проявляет среднюю стабильность – коэффициент вариации 18 %. Упругость теста, или максимальное избыточное давление, указывает на сопротивление теста деформации при надувании шара на альвеографе. У сорта Сакара значительное превышение этого показателя – в среднем 132 мм при норме для сильной пшеницы не менее 80 мм. Упругость теста стабильна по годам, коэффициент вариации 4 %. Форма кривой P/L (отношение упругости теста к моменту времени разрыва пузыря теста)

находился у сорта Сакара на предельных значениях допуска на сильную пшеницу (не более 2), а в 2021 г. соответствовал только ценной пшенице. Высокое значение P/L не является

отрицательной характеристикой, а указывает на высокую смесительную ценность сорта для партий зерна с низкими значениями упругости теста (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика реологических свойств теста
Table 3. Characteristics of the rheological properties of the dough

Год	Фаринограф		Альвеограф		
	Степень разжижения, е.ф.	ВПС, %	Сила муки, W, е.а.	Упругость теста, P, мм вод. ст.	Показатель P/L
Йолдыз, стандарт					
2020	67	58	172	81	1,26
2021	95	59	204	79	1,67
2022	71	57	104	54	0,64
среднее	78	58	160	71	1,19
Cv, %	19	2	32	21	44
Сакара					
2020	25	63	414	140	1,97
2021	28	64	369	129	2,09
2022	7	57	506	126	1,96
среднее	20	61	386	132	2,01
Cv, %	57	6	18	6	4

Примечание. Cv – коэффициент вариации.

Число падения (ЧП) – этот показатель, также регулируемый ГОСТом, указывает на активность амилалитических ферментов, что позволяет обнаруживать прорастание семян, которое негативно влияет на качество конечного продукта. Данные ЧП в 2022 г. в связи с жаркой и сухой погодой во время уборки имели завышенные показатели, у сорта Сакара ЧП составило 469 с.

Пробная лабораторная выпечка является заключительным этапом оценки хлебопекарных достоинств сорта. Известно, что при выпечке высококачественных сортов из-за не-

достаточной сахарообразующей способности при брожении не всегда удается испечь хороший хлеб. Результат общей хлебопекарной оценки сорта Сакара, которая складывается из оценки мякиша и внешнего вида хлеба, указывает на удовлетворительный вид хлеба, в среднем за два года этот показатель составил всего 3,7 балла. По остальным параметрам – объемному выходу хлеба, формоустойчивости и пористости мякиша Сакара в среднем за два года соответствует показателям на сильную пшеницу (табл. 4).

Таблица 4. Результаты лабораторной выпечки хлеба из муки сорта Сакара
Table 4. Laboratory baking results of bread made from the flour of the variety 'Sakara'

Показатель / требования для сильной пшеницы	2020 г	2021 г	Среднее
Объемный выход хлеба см ³ /100г муки/ не менее 400	414	418	416
Формоустойчивость, балл / не менее 0,35	0,61	0,76	0,69
Пористость мякиша, % / не менее 70	84	64	74
Общая хлебопекарная оценка / не менее 4,5	4,04	3,4	3,7

Выводы. Созданный сорт яровой шаро-зерной пшеницы Сакара сохранил черты вида *triticum sphaerococcum* Perciv. – короткое, компактное, не полегающее растение, плотный, не поникающий колос, сферическую форму зерновки. Сорт отличается высокой полевой устойчивостью к мучнистой росе, балл устойчивости по шкале Саари и Прескотта соответствует устойчивым сортам (2 балла). У сорта Сакара при полевой оценке степени устойчивости к бурой ржавчине отмечены лишь единичные пустулы на нижнем ярусе листьев. Сорт слабовосприимчив к твердой головне, при искусственной инокуляции спорами твердой головни степень поражения не превышала 7 %.

Сорт Сакара по технологическим качествам зерна, кроме стекловидности, соответствует классификационным требованиям на сильную пшеницу. Отличительной особенностью сорта является высокое содержание белка в зерне – 16,5 % и клейковины – 35,5 %. Данные фаринографа указывают на невысокую водопоглотительную способность у сорта, в среднем за три года 61 %, что ниже требований на сильную пшеницу. В то же время результаты альвеографа показывают отличные упруго эластичные свойства теста из муки сорта Сакара, сила муки и упругость теста имели высокие показатели – в среднем 386 е.а. и 132 мм вод.ст. соответственно. При невысокой зерновой продуктивности

в сравнении с яровыми мягкими пшеницами сорт Сакара характеризуется превосходными качественными показателями зерна и муки, свойственными шарозерным пшеницам.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Татарского НИИСХ – ФИЦ КазНЦ РАН: № 122011800138-7.

Библиографические ссылки

1. Асхадуллин Данил Ф., Асхадуллин Дамир Ф., Василова Н.З., Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Багавиева Э.З., Баранова О.А. Результаты оценки сортов яровой мягкой пшеницы на устойчивость к болезням в Казанском НЦ // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 89–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-89-94.
2. Кулеватова Т.Б., Лящева С.В., Злобина Л.Н., Старичкова Н.И. К качеству зерна озимой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, Вып. 1. С. 78–86. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-78-86.
3. 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. 2021 Vol. 81, Iss. 3. P. 383–391. DOI: 10.31742/IJGPB.81.3.5.
4. Cheng X., Xin M., Xu R., Chen Z., Cai W., Chai L., Xu H., Jia L., Feng Z., Wang Z., Peng H., Yao Y., Hu Z., Guo W., Ni Z., Sun Q. A Single Amino Acid Substitution in STKc_GSK3 Kinase Conferring Semispherical Grains and Its Implications for the Origin of *Triticum sphaerococcum* // The Plant Cell. 2020. Vol. 32, Iss. 4. P. 923–934. DOI: 10.1105/tpc.19.00580.
5. Eberwein Ann S. Food for Thought: An Analysis of the Robenhausen Botanicals at the Milwaukee Public Museum // Theses and Dissertations. 2019. 217 p. URL: <https://dc.uwm.edu/etd/2297>.
6. Ellerton, S. The origin and geographical distribution of *Triticum sphaerococcum* Perc. and its cytogenetical behaviour in crosses with *T. vulgare* vill. // Journal of Genetics. 1939. Vol. 38, Iss. 1–2. P. 307–324.
7. Gupta A., Hua L., Lin G., Molnár I., Doležel J., Liu S., Li W. Multiple origins of Indian dwarf wheat by mutations targeting the TREE domain of a GSK3-like kinase for drought tolerance, phosphate uptake, and grain quality // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134. P. 633–645.
8. McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2000 Supplement // Wheat information service. 2020. Vol. 91, P. 33–70.
9. Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canadian Journal of Research. 1948. Vol. 26, Iss. 5. P. 96–500. DOI: 10.1139/cjr48c-033.
10. Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // Plant disease reporter. 1975. Vol. 59, P. 377–380.
11. Salina E., Borner A., Leonova I., Korzun V., Laikova L., Maystrenko O., Röder M.S. Microsatellite mapping of the induced sphaerococcoid mutation genes in *Triticum aestivum* // Theoretical and Applied Genetics. 2000. Vol. 100, P. 686–689. DOI: 10.1007/s001220051340.
12. Skrajda-Brdak M., Konopka I., Tańska M., Szczepanek M., Sadowski T., Rychcik B. Low molecular phytochemicals of Indian dwarf (*Triticum sphaerococcum* Percival) and Persian wheat (*T. carthlicum* Nevski) grain // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 91, P. 1–7. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102887.

References

1. Askhadullin Danil F., Askhadullin Damir F., Vasilova N.Z., Tazutdinova M.R., Khusainova I.I., Bagavieva E.Z., Baranova O.A. Rezul'taty otsenki sortov yarovoi myagkoi pshenitsy na ustoychivost' k bolezniam v Kazanskom NTs [Estimation results of the spring bread wheat varieties for resistance to diseases in the Kazan Research Center] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 89–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-89-94.
2. Kulevatova T.B., Lyashcheva S.V., Zlobina L.N., Starichkova N.I. K kachestvu zerna ozimoi pshenitsy [To the winter wheat grain quality] // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya. 2021. T. 21, Vyp. 1. S. 78–86. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-78-86.
3. 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. 2021 Vol. 81, Iss.3. P. 383–391. DOI: 10.31742/IJGPB.81.3.5.
4. Cheng X., Xin M., Xu R., Chen Z., Cai W., Chai L., Xu H., Jia L., Feng Z., Wang Z., Peng H., Yao Y., Hu Z., Guo W., Ni Z., Sun Q. A Single Amino Acid Substitution in STKc_GSK3 Kinase Conferring Semispherical Grains and Its Implications for the Origin of *Triticum sphaerococcum* // The Plant Cell. 2020. Vol. 32, Iss. 4. P. 923–934. DOI: 10.1105/tpc.19.00580.
5. Eberwein, Ann S. Food for Thought: An Analysis of the Robenhausen Botanicals at the Milwaukee Public Museum // Theses and Dissertations. 2019. 217 p. URL: <https://dc.uwm.edu/etd/2297>.
6. Ellerton, S. The origin and geographical distribution of *Triticum sphaerococcum* Perc. and its cytogenetical behaviour in crosses with *T. vulgare* vill. // Journal of Genetics. 1939. Vol. 38, Iss. 1–2. P. 307–324.
7. Gupta A., Hua L., Lin G., Molnár I., Doležel J., Liu S., Li W. Multiple origins of Indian dwarf wheat by mutations targeting the TREE domain of a GSK3-like kinase for drought tolerance, phosphate uptake, and grain quality // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134. P. 633–645.
8. McIntosh R.A., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers W.J. Catalogue of gene symbols for wheat: 2000 Supplement // Wheat information service. 2020. Vol. 91. P. 33–70.
9. Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canadian Journal of Research. 1948. Vol. 26, Iss. 5. P. 96–500. DOI: 10.1139/cjr48c-033.

10. Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // Plant disease reporter. 1975. Vol. 59, P. 377–380.
11. Salina E., Borner A., Leonova I., Korzun V., Laikova L., Maystrenko O., Röder M.S. Microsatellite mapping of the induced sphaerococcoid mutation genes in *Triticum aestivum* // Theoretical and Applied Genetics. 2000. Vol. 100, P. 686–689. DOI: 10.1007/s001220051340.
12. Skrajda-Brdak M., Konopka I., Tańska M., Szczepanek M., Sadowski T., Rychcik B. Low molecular phytochemicals of Indian dwarf (*Triticum sphaerococcum* Percival) and Persian wheat (*T. carthlicum* Nevski) grain // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 91, P. 1–7. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102887.

Поступила: 08.02.23; доработана после рецензирования: 01.03.23; принята к публикации: 01.03.23.

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., Василова Н.З. – концептуализация исследования, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Тазутдинова М.Р., Хусаинова И.И., Гайфуллина Г.Р. – подготовка опыта, сбор данных; Кириллова Е.С., Идиатова Р.Х. – выполнение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

АНАЛИЗ НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ КОДИРУЮЩЕГО УЧАСТКА ГЕНА *ABI3* У СОРТООБРАЗЦОВ ГОРОХА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ СЕМЯН

К. П. Гайнуллина^{1,2}, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномики растений, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кормовых и зерновых культур, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;
С. Д. Румянцев¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории геномики растений, rumyantsev-serg@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5331-448X;
Ф. А. Давлетов³, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства зернобобовых и крупяных культур, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;
Б. Р. Кулуев¹, доктор биологических наук, заведующий лабораторией геномики растений, kuluev@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-1564-164X

¹Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,
450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 71/1Е;

²Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,
450535, Республика Башкортостан, Уфимский район, с. Чернотесовский, ул. Тополиная, д. 1;

³Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного
научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук,
450059, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, д. 19

Основным источником растительного протеина в мире являются зернобобовые культуры, среди которых в России наиболее распространен горох посевной. В регуляции биологических процессов, связанных с созреванием семян и накоплением в них запасных питательных веществ, в том числе белков, задействованы десятки и даже сотни генов. Исследования, проведенные на родственных гороху видах бобовых, свидетельствуют о том, что одним из генов, находящихся на высшем иерархическом уровне в этой регуляторной цепи, является ген транскрипционного фактора *ABI3*, однако его роль в биосинтезе и накоплении запасных белков семян остается малоизученной. Цель работы – выявление высокобелковых генотипов гороха и анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *ABI3* для поиска возможных ДНК-полиморфизмов, ассоциированных с содержанием протеина в их семенах. Исследования проводились в 2020–2021 годах. Объектом исследования послужили 37 сортобразцов гороха посевного из коллекции генетических ресурсов зернобобовых культур ВИР. Содержание протеина в семенах определяли по методу Брэдфорда. Подбор праймеров и сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей осуществляли с помощью программ PrimerSelect и MegAlign. Секвенирование проводили по методу Сэнгера. Были выделены сортобразцы гороха с наиболее высоким (Аксацкий усатый 55, Сахарный) и низким (К-8361 (ВИР), Фрегат) содержанием белка в семенах. У данных сортобразцов проведено секвенирование кодирующего участка гена *ABI3*. Сравнительный анализ их нуклеотидных последовательностей с аннотированной в базе данных GenBank последовательностью участка гена *ABI3* выявил среди них значительную вариабельность: нуклеотидные замены, делецию 6 нуклеотидов. У высокобелкового сорта Сахарный обнаружена 9-нуклеотидная инсерция, приводящая к вставке трех дополнительных аминокислот, а у низкобелкового сорта Фрегат – однонуклеотидная инсерция, вызывающая сдвиг рамки считывания. Полученные данные могут свидетельствовать о взаимосвязи между мутациями в гене *ABI3* и накоплением белка в семенах гороха.

Ключевые слова: горох, запасные белки семян, *ABI3*, ДНК-полиморфизм, маркер-ориентированная селекция.

Для цитирования: Гайнуллина К. П., Румянцев С. Д., Давлетов Ф. А., Кулуев Б. Р. Анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *ABI3* у сортобразцов гороха с различным содержанием запасных белков семян // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 34–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-34-40.



ANALYSIS OF NUCLEOTIDE SEQUENCES OF THE *ABI3* GENE CODING REGION IN PEA VARIETIES WITH DIFFERENT PERCENTAGE OF SEED STORAGE PROTEINS

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

S. D. Rumyantsev¹, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for plant genomics, rumyantsev-serg@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5331-448X;

F. A. Davletov³, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for primary legume breeding and seed production, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

B. R. Kuluev¹, Doctor of Biological Sciences, head of the laboratory for plant genomics, kuluev@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-1564-164X

¹*Institute of Biochemistry and Genetics, separate structural unit*

of the FSBSI Ufa Federal Research Center of RAS, 450054, Republic of Bashkortostan, Ufa, Oktyabr Av., 71/ 1E;

²*Experimental Station "Ufimskaya", separate structural unit*

of the FSBSI Ufa Federal Research Center of RAS, 450535, Republic of Bashkortostan, Ufimsky region, v. of Chernolesovsky, Topolinaya Str., 1

³*Bashkiriya Research Institute of Agriculture, separate structural unit*

of the FSBSI Ufa Federal Research Center of RAS,

450059, Republic of Bashkortostan, Ufa, Rikhard Zorge Str., 19

The main source of vegetable protein in the world are leguminous crops, among which peas are the most common in Russia. Dozens and even hundreds of genes are involved in the regulation of biological processes associated with the maturation of seeds and the accumulation of reserve nutrients in them, including proteins. The study conducted on legume species related to peas indicate that one of the genes at the highest hierarchical level in this regulatory chain is the *ABI3* transcription factor gene; however, its role in the biosynthesis and accumulation of seed storage proteins remains poorly studied. The purpose of the current work is to identify high-protein pea genotypes and analyze the nucleotide sequences of the coding region of the *ABI3* gene to search for possible DNA polymorphisms associated with protein percentage in their seeds. The study was carried out in 2020–2021. The objects of the study were 37 pea varieties from the collection of genetic resources of leguminous crops of VIR. Protein percentage in seeds was determined by the Bradford method. Selection of primers and comparative analysis of nucleotide sequences were performed using the PrimerSelect and MegAlign programs. Sequencing was performed according to the Sanger method. There were identified pea varieties with the highest ('Aksaisky Usaty 55', 'Sakharny') and low ('K-8361' (VIR), 'Fregat') seed protein percentage. In these variety samples, the coding region of the *ABI3* gene was sequenced. Comparative analysis of their nucleotide sequences with the sequence of the *ABI3* gene fragment annotated in the GenBank database revealed significant variability among them: nucleotide substitutions, deletion of 6 nucleotides. In the high protein variety 'Sakharny', there has been found a 9-nucleotide insertion, leading to the insertion of three additional amino acids, and in the low-protein variety Fregat, there has been found a single nucleotide insertion, causing a shift in the reading frame. The data obtained may indicate a correlation between mutations in the *ABI3* gene and protein accumulation in pea seeds.

Keywords: peas, seed storage proteins, *ABI3*, DNA polymorphism, marker-based selection.

Введение. Одной из важнейших зернобобовых культур в мире является горох посевной (*Pisum sativum* L.). Ценный высокобелковый продукт, получаемый из гороха, находит широкое продовольственное и промышленное применение и занимает важное место в питании населения, в том числе благодаря его дешевизне по сравнению с белками животного происхождения. Велико значение гороха и в качестве ценного корма, отличающегося не только высоким содержанием белка, но и сбалансированностью аминокислотного состава (Гайнуллина и др., 2020).

Благодаря этим качествам в России горох является основной зернобобовой культурой, возделываемой на обширной территории. Его успешно выращивают в разных почвенно-климатических условиях: на севере – до приполярной зоны, а на юге, западе и востоке – до государственных границ нашей страны (Зотиков и др., 2020). Несмотря на широкое распространение, объемы производства и качество зерна этой ценной зернобобовой культуры значительно отстают от потребностей народного хозяйства. В связи с этим актуальной задачей современной селекции гороха является создание качественно новых высокопродуктивных сортов гороха с высоким уровнем содержания протеина в семенах. Выведение новых сортов гороха методами классической селекции требует больших временных затрат: как правило, на создание сорта уходит 12–15, а иногда и 18 лет.

Современные достижения молекулярной биологии и генетики позволяют значительно ускорить этот процесс, предоставляя селекционерам возможность изучать и оценивать исходный материал не только по фенотипическим признакам, но и непосредственно по генотипу с использованием ДНК-маркеров для более точной и быстрой идентификации растений с высоким генетическим потенциалом (Гайнуллина и др., 2022). Для гороха маркер-ориентированная селекция актуальна прежде всего в отношении повышения урожайности и качества зерна. Известно, что у многих видов растений, в том числе у гороха, все этапы созревания семян контролируются генами транскрипционных факторов *LEC1*, *LEC2*, *FUSCA3* (*FUS3*) и *ABI3* (Boulard et al., 2017; Malovichko et al., 2020), однако их роль в биосинтезе и накоплении запасных белков все еще остается малоизученной.

В связи с этим целью работы стало выявление высокобелковых генотипов гороха и анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *ABI3* для поиска возможных ДНК-полиморфизмов, ассоциированных с содержанием протеина в их семенах.

Материалы и методы исследований. Опыты проводились в 2020–2021 годах. Материалом для исследования послужили 37 сортообразцов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) различного эколого-географического происхождения, полученные из ВИРа и ежегодно пересеваемые в коллекционном питомнике ла-

боратории селекции и первичного семеноводства зернобобовых и крупяных культур Чишминского селекционного центра БНИИСХ УФИЦ РАН, расположенного в Предуральской лесостепной зоне Республики Башкортостан. Концентрацию белка в семенах определяли на планшетном спектрофотометре LS 55 Luminescence Spectrometer («PerkinElmer», США) в трехкратной повторности по методу Бредфорда. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы STATISTICA 13.3 («StatSoft», США). Для выделения ДНК семена сортов образцов гороха проращивали на чашках Петри в нестерильных условиях. ДНК выделяли из 5–7-дневных проростков набором «Genomic DNA Purification Kit» («Thermo Fisher Scientific», США). Для амплификации целевого фрагмента размером 1426 п.н. использовали праймеры Ps_ABI3_F5'-ATGGTGAATGAAAGAGAAGAAGAC-3' и Ps_ABI3_R 5'-AACCTTGATGATGATTCCTATGAT-3' («Евроген», Россия), подобранные с помощью программы PrimerSelect («DNASoft», США). Последовательность участка данного гена взята из базы данных GenBank (AB080195.1). ПЦР проводили в амплификаторе «T-100» («Bio-Rad», США). Конечный объем реакционной смеси составлял 25 мкл и содержал 1 мкл раствора геномной ДНК, 12,5 мкл раствора Dream Taq™ PCR Master Mix («Thermo Fisher Scientific», США), по 1 мкл каждого праймера и 9,5 мкл стерильной деионизированной воды. Амплификацию проводили по следующей программе: начальная денатурация при 95 °С – 3 мин; 40 циклов: денатурация при 95 °С – 30 с, отжиг праймеров при 56 °С – 40 с, элонгация при 72 °С – 1 мин 10 с; конечная элонгация при 72 °С – 10 мин. Продукты амплификации разделяли методом горизонтального электрофореза в камере Sub-Cell GT («Bio-Rad», США) в 1%-м агарозном геле в течение 1 ч при напряжении 120 В. Визуализацию и документирование результатов электрофореза осуществляли в гель-документирующей системе Gel Doc™ EZ System («Bio-Rad», США) с помощью программного обеспечения Image Lab™ Software. Перед секвенированием полученные ампликоны очищали набором реагентов «diaGene»

(«Диаэм», Россия). Секвенирование проводили по методу Сэнгера. Конечный объем реакционной смеси составлял 10 мкл и содержал 1 мкл праймера, 1 мкл очищенной ДНК-матрицы, 7,5 мкл стерильной деионизированной воды и 0,5 мкл Big-dye chemistry v3.1 («Thermo Fisher Scientific», США). Последовательность циклов секвенирующей реакции была следующей: денатурация при 96 °С в течение 10 с, отжиг праймера при 56 °С в течение 5 с и элонгация при 60 °С в течение 4 мин для всех 30 циклов. Флуоресцентно меченые продукты амплификации анализировали с использованием генетического анализатора Applied Biosystems 3500 (США). Секвенирование исследуемого участка гена ABI3 каждого сорта образцов проводили с двух концов при помощи прямого и обратного праймеров в трех биологических и двух технических повторностях. Далее для каждого сорта образцов путем выравнивания полученных нуклеотидных последовательностей было составлено по одной консенсусной последовательности. Компьютерный анализ нуклеотидных последовательностей выполняли с помощью программы MegAlign (DNASoft, США), нумерацию нуклеотидов осуществляли по референсному гену ABI3 из GenBank.

Результаты и их обсуждение. Количество белка в семенах гороха мировой коллекции ВИР колеблется от 18 до 35 % (Пономарева и Селехов, 2017). Значительное влияние на содержание белка и его качество оказывают особенности генотипа сорта, а также гидротермические факторы, уровень инсоляции и продолжительность светового дня в зоне возделывания (Пислегина и Четвертных, 2020). В большинстве регионов нашей страны величина данного показателя составляет 22–26 %. Так, например, в условиях Центральной России при детерминированном максимуме урожайности зерна в нем содержится 22–23 % протеина (Пономарева, 2020). Среди исследованных нами сортов образцов гороха в условиях Республики Башкортостан наибольшим количеством белка в семенах отличались Аксайский усатый 55 (23,5±0,6 %), Сахарный (25,3±0,5 %), наименьшим – К-8361 (ВИР) (18,2±0,2 %), Фрегат (19,1±0,3 %) (см. таблицу).

**Содержание белка в семенах сортов образцов гороха
различного эколого-географического происхождения (в среднем за 2020–2021 гг.)
Protein percentage in seeds of pea varieties
of various ecological and geographical origin (mean in 2020–2021)**

Название сорта образцов	Происхождение	Направление использования	Содержание белка в семенах, % ($\bar{X}_{cp} \pm Sx_{cp}$)
Памяти Хангильдина	Республика Башкортостан	зерновое	21,3±0,5
Чишминский 75	Республика Башкортостан	зерновое	22,0±0,7
Чишминский 229	Республика Башкортостан	зерновое	22,1±0,6
Кормовой 5	Республика Башкортостан	укосно-зерновое	21,5±0,4
Мелкосемянный 2	Республика Башкортостан	зерновое	20,2±0,4
Аксайский усатый 55	Ростовская область	зерновое	23,5±0,6*
И-0141090 (ВИР)	Тюменская область	зерновое	21,4±0,3
Алла	Орловская область	укосное	21,0±0,5
Смарагд	Германия	зерновое	20,8±0,8

Окончание табл.

Название сортообразца	Происхождение	Направление использования	Содержание белка в семенах, % ($X_{cp} \pm Sx_{cp}$)
К-6285 (ВИР)	Чехия	укусное	21,3±0,3
К-8750 (ВИР)	Португалия	зерновое	21,6±0,6
Frey Heinrich	Германия	зерновое	20,1±0,4
К-6017 (ВИР)	Франция	зерновое	20,3±0,7
И-0141085 (ВИР)	Тюменская область	укусное	21,6±0,4
К-8714 (ВИР)	Республика Адыгея	зерновое	21,5±0,5
К-6299 (ВИР)	Марокко	зерновое	20,3±0,5
К-7041 (ВИР)	Ливия	зерновое	20,4±0,4
К-5044 (ВИР)	Китай	зерновое	20,1±0,2
Флагман 10	Самарская область	зерновое	20,5±0,6
Фрегат	Республика Татарстан	зерновое	19,1±0,3*
Зеленозерный 1	Воронежская область	зерновое	20,4±0,5
Труженик	Украина	зерновое	20,8±0,6
К-8361	Англия	зерновое	18,2±0,2*
Батрак	Орловская область	зерновое	20,2±0,4
Омский 18	Омская область	зерновое	21,0±0,5
Фараон	Орловская область	зерновое	20,7±0,7
Томас	Тюменская область	зерновое	20,0±0,2
К-5598 (ВИР)	Франция	зерновое	20,3±0,3
И-0141092 (ВИР)	Тюменская область	зерновое	21,4±0,6
Мультик	Орловская область	зерновое	20,5±0,5
К-8568 (ВИР)	Англия	зерновое	20,0±0,3
К-9458 3716/04 (ВИР)	Тюменская область	укусное	20,6±0,5
КТ-6453 (ВИР)	Республика Татарстан	зерновое	20,4±0,2
К-8289 (ВИР)	Нидерланды	зерновое	20,9±0,6
Аксацкий усатый 5	Ростовская область	зерновое	20,1±0,3
Avola	Нидерланды	овощное	21,8±0,4
Сахарный	Московская область	овощное	25,3±0,5*

Примечание. * – различия достоверны при $p < 0,05$.

Эти 4 сортообразца были отобраны нами для секвенирования и сравнительного биоинформационного анализа нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена транскрипционного фактора *ABI3*, который по литературным данным (Chen et al., 2018; Lalanne et al., 2021) участвует в регуляции экспрессии генов запасных белков семян у родственных гороху видов бобовых – *Medicago*

truncatula Gaertn., *Glycine max* L. Merr. и некоторых других. В результате амплификации геномной ДНК, выделенной из сортообразцов Аксацкий усатый 55, Сахарный, К-8361 (ВИР), Фрегат, с разработанными нами праймерами были получены ПЦР-продукты, размеры которых соответствовали длине целевого фрагмента (около 1426 п.н.) (рис. 1).

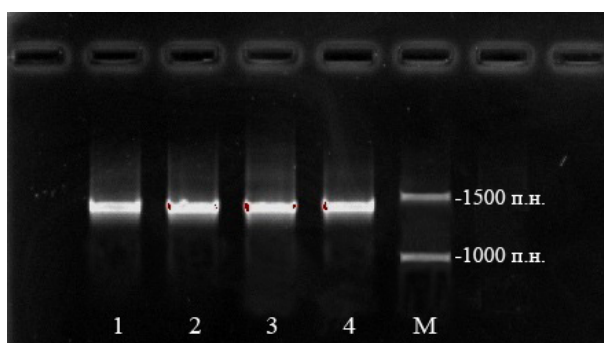


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР-продуктов, полученных в результате амплификации кодирующего участка гена *ABI3*: 1 – Аксацкий усатый 55, 2 – Сахарный, 3 – Фрегат, 4 – К-8361 (ВИР), М – ДНК-маркер Step 50plus («Диаэм», Россия)

Fig. 1. Electropherogram of PCR products obtained through amplification of the coding region of the *ABI3* gene: 1 – 'Aksaisky Usaty 55', 2 – 'Sakharny', 3 – 'Fregat', 4 – 'K-8361' (VIR), M – 'Step 50plus' DNA marker (Diaem, Russia)

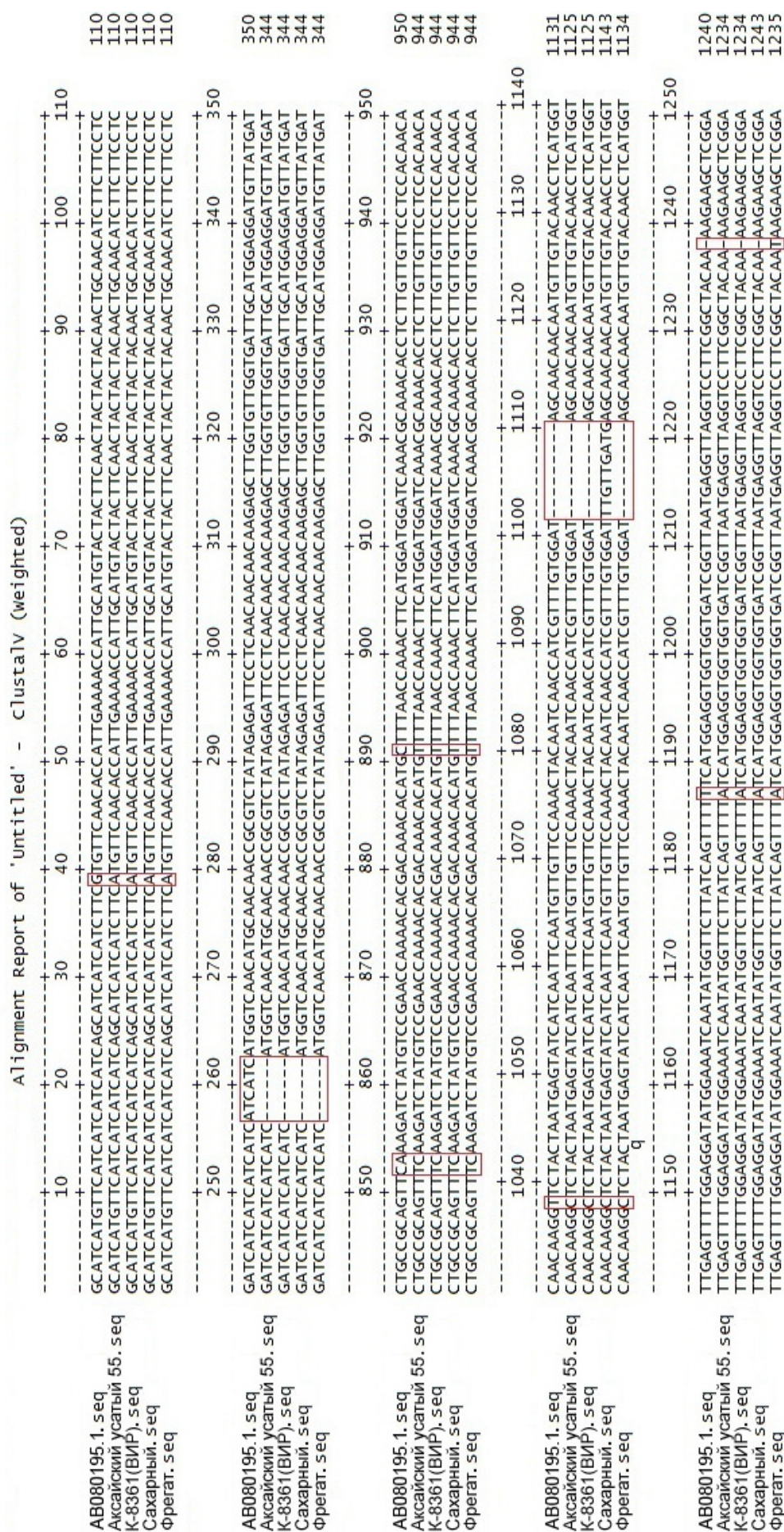


Рис. 2. Фрагмент множественного выравнивания нуклеотидных последовательностей участка гена *AB13* у изученных сортов гороха

в сравнении с нуклеотидной последовательностью из базы данных GenBank (AB080195.1)

Fig. 2. Fragment of multiple alignment of the nucleotide sequences of the *AB13* gene region in the studied pea varieties in comparison with the nucleotide sequence from the GenBank database (AB080195.1)

После секвенирования и сравнительного анализа полученных ампликонов было установлено, что у сорта Сахарный, характеризующегося высоким содержанием белка в семенах, в кодирующем участке гена *ABI3* имеется инсерция из 9 нуклеотидов (TTGTTGATG) в позиции 1103–1112 п.н., у низкобелкового сорта Фрегат – однонуклеотидная вставка (Т) в позиции 1238 п.н. (рис. 2). Результаты выравнивания аминокислотных последовательностей всех четырех образцов показывают, что инсерция 9 нуклеотидов у сорта Сахарный приводит к вставке трех дополнительных аминокислот: двух лейцинов и метионина. Однонуклеотидная вставка (Т) у сорта Фрегат вызывает сдвиг рамки считывания и соответственно стоп-кодона за пределы изучаемого фрагмента генома гороха.

По сравнению с аннотированной в базе данных GenBank нуклеотидной последовательностью участка гена транскрипционного фактора гороха *ABI3* (AB080195.1) все 4 изученных нами сортообразца имеют следующие отличия: замены А→Г, ТС→СА, Т→С, С→Т, А→Т в позициях 39, 852–853, 891, 1038, 1187 п.н. соответственно, а также 6-нуклеотидную делецию (ATCATC) в позиции 257–263 п.н.

Выводы. В результате проведенного исследования были выделены высокобелковые сорта гороха посевного Аксайский усатый 55 (23,5±0,6 %) и Сахарный (25,3±0,5 %), которые могут быть использованы в селекции в качестве источников высокого содержания протеина в семенах. Анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена транскрипционного фактора *ABI3* у высоко- и низкобелковых сортообразцов гороха показал различия в структуре этого гена (инделы, замены нуклеотидов) между исследованными сортообразцами, а также в сравнении с аннотированной последовательностью нуклеотидов из GenBank. Кратность длины обнаруженных инделов (6 и 9 п.н.) размеру кодона (3 п.н.) предполагает наличие соответствующих изменений в аминокислотной последовательности, что было подтверждено нами *in silico* и может быть ассоциировано со способностью к биосинтезу и накоплению запасных белков в семенах гороха.

Финансирование. Исследование Б. Р. Кулуева выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № 122030200143-8, работы К. П. Гайнуллиной поддержаны грантом АН РБ № 22-14-20049 (соглашение № 1 от 06.06.2022 г.).

Библиографические ссылки

1. Гайнуллина К. П., Кулуев Б. Р., Давлетов Ф. А. Оценка генетического разнообразия сортов и линий гороха с помощью SSR-анализа // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 3. С. 70–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-70-80.
2. Гайнуллина К. П., Кулуев Б. Р., Давлетов Ф. А. Создание исходного материала для селекции гороха методом химического мутагенеза и оценка его генетического разнообразия с использованием SSR-маркеров // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 111–122. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-111-122.
3. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В., Сидоренко В. С., Хмызова Н. Г. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4(36). С. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.
4. Пислегина С. С., Четвертных С. С. Влияние погодных условий на продолжительность вегетационного периода и продуктивность гороха // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 5. С. 521–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530.
5. Пономарева С. В., Селехов В. В. Влияние погодных условий на урожай и качество сортов гороха // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1(56). С. 20–27. EDN: XVRTXB.
6. Пономарева, С. В. Оценка сортов полевого гороха (*Pisum arvense* L.) на содержание белка в зерне: взаимосвязи хозяйственно полезных признаков с погодно-климатическими условиями // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 13–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-13-17.
7. Boulard C., Fatihi A., Lepiniec L., Dubreucq B. Regulation and evolution of the interaction of the seed B3 transcription factors with NF-Y subunits // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Gene Regulatory Mechanisms. 2017. Vol. 1860, Iss. 10. P. 1069–1078. DOI: 10.1016/j.bbagrm.2017.08.008.
8. Chen M., Lin J. Y., Hur J., Pelletier J. M., Baden R., Pellegrini M., Haradab J. J., Goldberg R. B. Seed genome hypomethylated regions are enriched in transcription factor genes // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115, № 35. P. 8315–8322. DOI: 10.1073/pnas.1811017115.
9. Lalanne D., Malabarba J., Ly Vu J., Hundertmark M., Delahaie J., Leprince O., Buitink J., Verdier J. *Medicago* *ABI3* splicing isoforms regulate the expression of different gene clusters to orchestrate seed maturation // Plants. 2021. № 10(8). P. 1710–1725. DOI: 10.3390/plants10081710.
10. Malovichko Y. V., Shtark O. Y., Vasileva E. N., Nizhnikov A. A., Antonets K. S. Transcriptomic insights into mechanisms of early seed maturation in the garden pea (*Pisum sativum* L.) // Cells. 2020. № 9(3). P. 779–810. DOI: 10.3390/cells9030779.

References

1. Gainullina K. P., Kuluev B. R., Davletov F. A. Otsenka geneticheskogo raznoobraziya sortov i linii gorokha s pomoshch'yu SSR-analiza [Estimation of the genetic diversity of pea varieties and lines using SSR-analysis] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. T. 181, № 3. S. 70–80. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-70-80.
2. Gainullina K. P., Kuluev B. R., Davletov F. A. Sozdanie iskhodnogo materiala dlya selektsii gorokha metodom khimicheskogo mutageneza i otsenka ego geneticheskogo raznoobraziya s ispol'zovaniem SSR-

markerov [Development of initial material for pea breeding by chemical mutagenesis and estimation of its genetic diversity using SSR-markers] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2022. T. 183, № 3. S. 111–122. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-111-122.

3. Zotikov V.I., Polukhin A.A., Gryadunova N.V., Sidorenko V.S., Khmyzova N.G. Razvitie proizvodstva zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii na osnove ispol'zovaniya selektsionnykh dostizhenii [Development of the production of leguminous and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 4(36). S. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.

4. Pislegina S. S., Chetvertnykh S. S. Vliyanie pogodnykh uslovii na prodolzhitel'nost' vegetatsionnogo perioda i produktivnost' gorokha [Effect of weather conditions on length of a vegetation period and productivity of peas] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. T. 21, № 5. S. 521–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530.

5. Ponomareva S. V., Selekhev V. V. Vliyanie pogodnykh uslovii na urozhai i kachestvo sortov gorokha [Effect of weather conditions on productivity and quality of pea varieties] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2017. № 1(56). S. 20–27. EDN: XVRTXB.

6. Ponomareva S. V. Otsenka sortov polevogo gorokha (*Pisum arvense* L.) na sodержание belka v zerne: vzaimosvyazi khozyaistvenno poleznykh priznakov s pogodno-klimaticheskimi usloviyami [Estimation of field pea varieties (*Pisum arvense* L.) for protein percentage in grain: correlation between economically valuable traits and weather and climatic conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 2(68). S. 13–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-13-17.

7. Boulard C., Fatihi A., Lepiniec L., Dubreucq B. Regulation and evolution of the interaction of the seed B3 transcription factors with NF-Y subunits // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Gene Regulatory Mechanisms. 2017. Vol. 1860, Iss. 10. P. 1069–1078. DOI: 10.1016/j.bbagrm.2017.08.008.

8. Chen M., Lin J. Y., Hur J., Pelletier J. M., Baden R., Pellegrini M., Haradab J. J., Goldberg R. B. Seed genome hypomethylated regions are enriched in transcription factor genes // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115, № 35. P. 8315–8322. DOI: 10.1073/pnas.1811017115.

9. Lalanne D., Malabarba J., Ly Vu J., Hundertmark M., Delahaie J., Leprince O., Buitink J., Verdier J. *Medicago ABI3* splicing isoforms regulate the expression of different gene clusters to orchestrate seed maturation // Plants. 2021. № 10(8). P. 1710–1725. DOI: 10.3390/plants10081710.

10. Malovichko Y. V., Shtark O. Y., Vasileva E. N., Nizhnikov A. A., Antonets K. S. Transcriptomic insights into mechanisms of early seed maturation in the garden pea (*Pisum sativum* L.) // Cells. 2020. № 9(3). P. 779–810. DOI: 10.3390/cells9030779.

Поступила: 05.12.22; доработана после рецензирования: 28.02.23; принята к публикации: 28.02.23.

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. Кулуев Б. Р. – концептуализация исследования; Гайнуллина К. П. – подготовка опыта; Гайнуллина К. П., Румянцев С. Д. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Давлетов Ф. А., Гайнуллина К. П. – анализ данных и их интерпретация; Кулуев Б. Р., Гайнуллина К. П. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ИЗУЧЕНИЕ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ СВОЙСТВ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

Н. Г. Игнатьева, техник-исследователь лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

Ю. Н. Алты-Садых, техник-исследователь лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 0000-0002-3969-1166;

Н. Е. Васюшкина, техник-исследователь лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 000-0001-6354-4134;

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

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В работе представлены результаты изучения реологических и хлебопекарных свойств четырех сортов озимой твердой пшеницы в смесях с мягкой пшеницей. Целью исследований было изучение реологических свойств теста и оценка хлебопекарных достоинств сортов озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в смеси с озимой мягкой пшеницей и в чистом виде. В качестве экспериментального материала использовали зерно 4 сортов озимой твердой пшеницы: Кристелла, Амазонка, Эйрена, Яхонт, урожая 2019–2021 годов. Смеси муки твердой и мягкой пшеницы готовили по массе 10, 30, 50, 70 и 90 % каждого сорта твердой пшеницы соответственно. Провели исследования физических и реологических свойств теста и лабораторную выпечку хлеба из муки данных сортов в смеси с мукой озимой мягкой пшеницы Универ в соответствии с методическими указаниями. Помол образцов осуществляли с использованием мельницы МЛУ-202 Бюллер. Математическую обработку полученных результатов выполнили по Б. А. Доспехову с использованием MS Excel 2010. В результате проведенных исследований установлено, что применение сортов озимой твердой пшеницы Кристелла и Амазонка при выпечке хлебных изделий в смесях с мягкой пшеницей Универ дает положительный результат при смешивании в соотношении 10:90 (%); 30:70 (%); 50:50 (%). Большое значение имеет не только качество зерна используемой твердой пшеницы, но и комплементарный подбор сорта улучшителя и улучшаемого сорта мягкой пшеницы. Сорта озимой твердой пшеницы Эйрена и Яхонт могут быть использованы для улучшения муки мягкой пшеницы, а также в самостоятельном виде для хлебопечения. Применение фаринографического анализа в селекции озимой твердой пшеницы позволяет выделить образцы с необходимой выраженностью реологических и физических свойств теста. Селекцию твердой пшеницы можно вести по двум направлениям: на качество макаронных изделий и хлебопекарные свойства.

Ключевые слова: *Triticum durum* Desf, сорт, разжижение теста, валориметрическая оценка, объемный выход хлеба.

Для цитирования: Кравченко Н. С., Игнатьева Н. Г., Алты-Садых Ю. Н., Васюшкина Н. Е., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П. Изучение хлебопекарных свойств сортов озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2023. № 2. С. 41–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-41-49.



STUDY OF BAKING PROPERTIES OF THE WINTER DURUM WHEAT VARIETIES

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

N. G. Ignatieva, research technician of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

Yu. N. Alty-Sadykh, research technician of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0002-3969-1166;

N. E. Vasyushkina, research technician of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 000-0001-6354-4134;

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

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented the study results of rheological and baking properties of 4 winter durum wheat varieties in mixtures with common wheat. The purpose of the study was to research the rheological properties of the dough and estimate the baking qualities of winter durum wheat varieties of the FSBSI "ARC "Donskoy" mixed with winter common wheat and in its pure form. The objects of the study were 4 varieties 'Kristella', 'Amazonka', 'Eirena', 'Yakhont' grown in the competitive variety testing of the laboratory for breeding and seed production of winter durum wheat in 2019–2021. In the preparation of mixtures, there has been used the winter common wheat variety 'Univer'. There was added 10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 % of each durum wheat variety to the flour of the variety 'Univer'. The laboratory baking was carried out in accordance with the method, a non-dough method with repeated kneading. The physical and rheological properties of the mixtures were determined using a farinograph. The configuration of the farinogram was estimated according to the method proposed by Vasilchuk N.S. The varietal grinding of the samples was carried out on an MLU-202 Buller mill. Mathematical and statistical processing of the study results was performed according to B.A. Dospekhov using MS Excel 2010. There has been found out that the winter common wheat variety 'Kristella' is most appropriate to use in mixtures with common wheat, but not more than 50%. The rheological and baking properties of the winter durum wheat variety 'Amazonka' in a mixture with common wheat of the variety 'Univer' were most fully revealed at a ratio of 10–50%. The winter durum wheat varieties 'Eirena' and 'Yakhont' can be used to improve common wheat flour, as well as in an independent form for baking. In the process of current study, there have been established the varietal differences in rheological and baking properties. The use of farinographic analysis in winter durum wheat breeding made it possible to identify samples with the required severity of the rheological and physical properties of the dough. Selection of durum wheat can be carried out in two such directions as pasta quality and baking properties.

Keywords: *Triticum durum* Desf, variety, dough dilution, valorimetric estimation, volume yield.

Введение. Пшеница твердых сортов (*Triticum durum* Desf.) традиционно используется для изготовления макаронных изделий. Зерно, мука и крупа, полученные из твердой пшеницы, являются низкокалорийными продуктами, которые богаты витаминами, минералами, пищевыми волокнами и относятся к продуктам для здорового и диетического питания (Штейнберг и др., 2017). Кроме того, в зерне твердой пшеницы содержатся каротиноидные пигменты, которые относятся к природным антиоксидантам. (Полонский и др., 2018). Использование продуктов переработки твердой пшеницы в хлебопечении позволит создавать функциональные продукты питания, которые, обогатят организм человека нутриентами, положительно влияющими на здоровье. Одним из способов улучшения технологических и питательных свойств конечных продуктов (хлеба, кексов, теста для пиццы, чебуреков, пельменей) является использование в хлебопечении зерна различных культур (Шаболкина, 2021).

Некоторые исследователи свидетельствуют, что качество хлеба, выпеченного с использованием муки durum, по органолептическим и физико-химическим показателям превосходит качество готовых изделий из муки мягкой пшеницы (Сергачева и Терновской, 2019).

По мнению ученых, улучшение хлебопекарных свойств при смешивании твердой и мягкой пшеницы зависит от взаимной компенсации недостающих компонентов и соблюдения оптимального количественного соотношения компонентов в смесях (Шаболкина и др., 2017).

В России селекционные программы по озимой твердой пшенице направлены на создание сортов с высокой урожайностью и качеством зерна, соответствующим требованиям для изготовления макаронных изделий. Некоторые исследователи считают, что мука из твердой пшеницы в чистом виде малопригодна для хлебопечения, и рекомендуют использовать ее в смеси с мягкой пшеницей (Шаболкина и др., 2016).

В Италии технологическое качество крупки из твердой пшеницы является одной из целей исследований по генетическим и биохимическим улучшениям для производства не только макаронных изделий, но и для повышения хлебопекарных свойств. Только на Сицилии производят более 50 видов традиционных сортов хлеба из твердой пшеницы (Ляпунова, 2019). В средиземноморских районах использование сортов твердой пшеницы для производства хлеба постоянно растет из-за его вкусовых качеств и длительного срока хранения по сравнению с хлебом, полученным из мягкой пшеницы (Pogna et al., 2002).

Исследование технологических свойств зерна сортов озимой твердой пшеницы будет способствовать расширению ассортимента исходного сырья для переработки и изготовления хлебобулочных изделий.

Цель исследований – изучение реологических свойств теста и оценка хлебопекарных достоинств сортов озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в смеси с озимой мягкой пшеницей и в чистом виде.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследований использовали 4 сорта: Кристелла, Амазонка, Эйрена, Яхонт, выращенных в конкурсном сортоиспытании лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы. При приготовлении смесей использовали сорт озимой мягкой пшеницы Универ. В муку сорта Универ добавляли 10, 30, 50, 70 и 90 % каждого сорта твердой пшеницы. Пробную лабораторную выпечку осуществляли в соответствии с методикой безопасным методом с повторным замесом. Физические и реологические свойства смесей определяли с помощью фаринографа. Конфигурацию фаринограммы оценивали по методу, предложенному Н.С. Васильчуком с соавторами (2009). Математическую и статистическую обработку результатов исследований выполняли по Б.А. Доспехову (2014) с использованием MS Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Реологические свойства теста смесей изменялись

по сравнению с сортом мягкой пшеницы Универ. Оценка конфигурации фаринограммы снижалась, за исключением смеси, куда добавляли 10 % муки сорта Кристелла (табл. 1).

Таблица 1. Физические и реологические свойства смесей сортов озимой твердой пшеницы Кристелла и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.
Table 1. Physical and rheological properties of mixtures of the winter durum wheat variety 'Kristella' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Оценка конфигурации фаринограммы, балл	ВПС, %	Разжижение теста, е. ф.	Валориметрическая оценка, ед. вал.
Универ 100 %	9	61,1	65	58
10 % (Кристелла): 90 % (Универ)	9	61,4	45	64
30 % (Кристелла): 70 % (Универ)	8	62,3	50	60
50 % (Кристелла): 50 % (Универ)	8	65,0	40	62
70 % (Кристелла): 30 % (Универ)	8	67,6	50	61
90 % (Кристелла): 10 % (Универ)	8	70,1	40	60
Кристелла 100 %	8	71,2	40	59
НСР _{0,5}	0,9	2,1	9,0	1,3

Было отмечено повышение водопоглотительной способности смесей – от 61,4 до 70,1 %. При анализе муки из 100 %-й твердой озимой пшеницы Кристелла водопоглотительная способность была максимальной и составила 71,2 %.

Показатель разжижения теста характеризует изменение консистенции теста через 12 мин постоянной нагрузки (замешивания). Для мягкой хлебопекарной пшеницы предъявляются следующие требования: не более 30 ед. ф. – сильная пшеница, отличный улучшитель; не более 50 ед. ф. – сильная пшеница, хороший улучшитель; не более 60 ед. ф. – сильная пшеница, удовлетворительный улучшитель; не более 80 ед. ф. – наиболее ценные по качеству; более 80 ед. ф. – филлеры и слабые пшеницы.

В результате проведенных исследований было установлено, что все изучаемые сорта и смеси сорта Универ и Кристелла по разжи-

жению теста относились к сильной пшенице и характеризовались как хороший и удовлетворительный улучшитель. Значения изучаемого показателя изменялись от 40 ед. ф. при добавлении 90 % и 100 % твердой пшеницы сорта Кристелла до 65 ед. ф. у сорта мягкой пшеницы Универ. По показателю «валориметрическая оценка» отмечено увеличение значений в смесях и снижении у сорта мягкой пшеницы Универ и сорта твердой пшеницы Кристелла в чистом виде. Сорт озимой твердой пшеницы Кристелла более эффективно использовать в смеси с мягкой пшеницей для улучшения реологических свойств теста.

При изучении смесей сорта твердой пшеницы Амазонка отмечено значительное снижение оценки конфигурации фаринограммы при добавлении 90 % муки сорта Амазонка и в чистом виде (табл. 2).

Таблица 2. Физические и реологические свойства смесей сортов озимой твердой пшеницы Амазонка и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.
Table 2. Physical and rheological properties of mixtures of the winter durum wheat variety 'Amazonka' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Оценка конфигурации фаринограммы, балл	ВПС, %	Разжижение теста, е. ф.	Валориметрическая оценка, ед. вал.
Универ 100 %	9	61,1	65	58
10 % (Амазонка): 90 % (Универ)	8	61,5	50	59
30 % (Амазонка): 70 % (Универ)	8	63,6	55	61
50 % (Амазонка): 50 % (Универ)	8	65,5	45	57
70 % (Амазонка): 30 % (Универ)	8	68,0	55	56
90 % (Амазонка): 10 % (Универ)	6	71,0	65	52
Амазонка 100 %	5	71,6	100	50
НСР _{0,5}	0,8	3,1	10,5	1,1

Водопоглотительная способность муки смесей повышалась от 61,5 до 71,0 %. Значения разжижения теста смесей соответствовали филлерам и ценным пшеницам. Сорт Амазонка в чистом виде сформировал значения разжижения теста на уровне филлера (100 ед. ф.). Выраженность валориметрической оценки смесей снижалась и соответствовала ценным пше-

ницам. У сорта Амазонка в чистом виде выявлено снижение всех показателей, определяемых с помощью фаринографа. При изучении реологических свойств смесей сорта озимой твердой пшеницы Амазонка установлено снижение реологических свойств и рекомендуется добавлять не более 30 % муки данного сорта для получения удовлетворительных результатов.

При изучении реологических свойств смесей с сортом твердой пшеницы Эйрена было установлено, что оценка конфигурации фа-

ринограммы не снижалась во всех вариантах (табл. 3).

Таблица 3. Физические и реологические свойства смесей сортов озимой твердой пшеницы Эйрена и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.

Table 3. Physical and rheological properties of mixtures of the winter durum wheat variety 'Eirena' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Оценка конфигурации фаринограммы, балл	ВПС, %	Разжижение теста, е. ф.	Валориметрическая оценка, ед. вал.
Универ 100 %	9	61,1	65	58
10 % (Эйрена): 90 % (Универ)	8	61,5	53	60
30 % (Эйрена): 70 % (Универ)	8	64,9	50	60
50 % (Эйрена): 50 % (Универ)	8	67,8	55	61
70 % (Эйрена): 30 % (Универ)	8	70,8	45	62
90 % (Эйрена): 10 % (Универ)	8	71,6	30	64
Эйрена 100 %	8	73,4	40	62
НСР _{0,5}	0,9	2,0	9,7	1,7

С увеличением процентного соотношения муки твердой пшеницы наблюдалось увеличение значений водопоглотительной способности муки – от 61,5 до 73,4 %. Разжижение теста смесей с сортом твердой пшеницы Эйрена соответствовало требованиям, предъявляемым к мягкой пшенице сильных сортов отличных, хороших и удовлетворительных улучшителей. Значения валориметрической оценки повышались по мере увеличения процентного отношения твердой пшеницы и соответствовали требованиям для сильной пшеницы удовлетворительного улучшителя. Исходя из вышеизло-

женного, делаем вывод: мука из сорта озимой твердой пшеницы Эйрена может использоваться для улучшения реологических свойств в смеси с мягкой пшеницей и в чистом виде для хлебопечения.

Оценка конфигурации фаринограммы смесей сорта твердой пшеницы Яхонт не снижалась при увеличении процента муки из твердой пшеницы.

В смеси 90 % Яхонт (твердая пшеница) x 10 % Универ (мягкая пшеница) было отмечено увеличение оценки конфигурации фаринограммы (9 баллов) (табл. 4).

Таблица 4. Физические и реологические свойства смесей сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.

Table 4. Physical and rheological properties of mixtures of the winter durum wheat variety 'Yakhont' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Оценка конфигурации фаринограммы, балл	ВПС, %	Разжижение теста, е. ф.	Валориметрическая оценка, ед. вал.
Универ 100 %	9	61,1	65	58
10 % (Яхонт): 90 % (Универ)	8	61,6	60	59
30 % (Яхонт): 70 % (Универ)	8	64,4	45	60
50 % (Яхонт): 50 % (Универ)	8	65,0	50	57
70 % (Яхонт): 30 % (Универ)	8	66,0	40	60
90 % (Яхонт): 10 % (Универ)	9	67,2	40	63
Яхонт 100 %	8	68,1	45	63
НСР _{0,5}	1,0	2,1	9,2	1,3

В результате исследований было установлено повышение водопоглотительной способности муки смесей, так же как и смесей с другими сортами. По разжижению теста и валориметрической оценке смеси с твердой пшеницей Яхонт соответствовали требованиям, предъявляемым к сильным сортам – хорошим и удовлетворительным улучшителям.

В результате изучения физических и реологических свойств теста смесей из муки твердых сортов выявлены сортовые различия, что позволяет рекомендовать сорта твердой пшеницы Яхонт и Эйрена для использования в хлебо-

печении для улучшения свойств теста мягкой пшеницы и в чистом виде для получения продуктов диетического и функционального назначения.

Была проведена пробная лабораторная выпечка и определены хлебопекарные свойства смесей сортов твердой пшеницы. В среднем за годы исследований объемный выход хлеба с использованием сорта Кристелла снижался по мере увеличения соотношения муки твердой пшеницы.

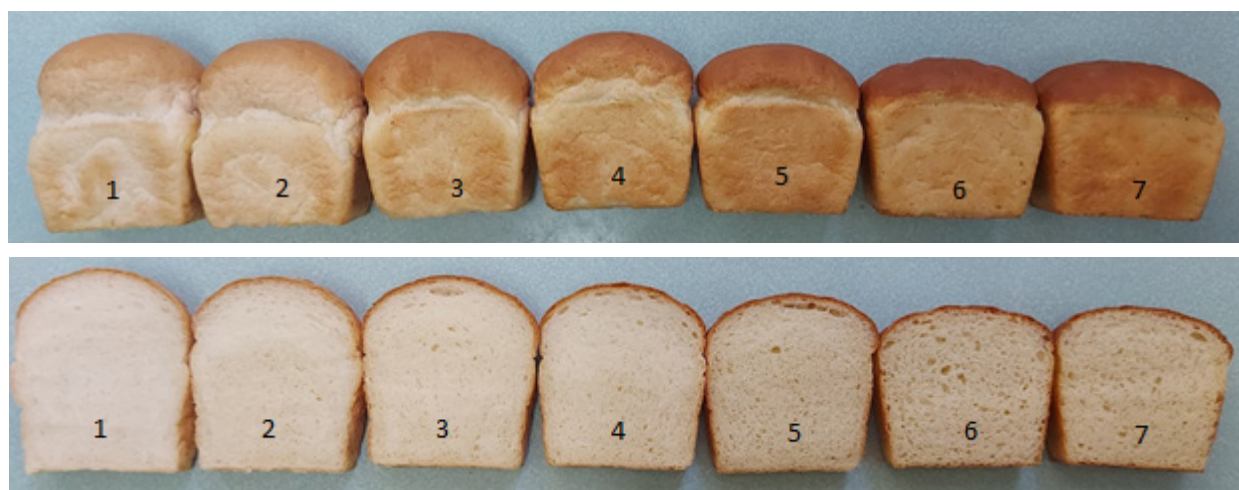
Значения общей хлебопекарной оценки также снижались – от 4,4 до 3,6 балла (табл. 5).

Таблица 5. Показатели качества хлеба из смесей сортов озимой твердой пшеницы Кристелла и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.
Table 5. Quality indicators of bread from mixtures of the winter durum wheat variety 'Kristella' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твёрдой и мягкой пшеницы	Объем хлеба, мл	Оценка, балл
Универ 100 %	737	4,5
10 % (Кристелла): 90 % (Универ)	683	4,2
30 % (Кристелла): 70 % (Универ)	683	4,4
50 % (Кристелла): 50 % (Универ)	653	4,1
70 % (Кристелла): 30 % (Универ)	640	4,0
90 % (Кристелла): 10 % (Универ)	613	3,6
Кристелла 100 %	607	3,6
НСР _{0,5}	11,1	0,3

Наилучшей выраженностью хлебопекарных свойств характеризовалась смесь 30 % (Кристелла): 70 % (Универ), 683 мл составил объемный выход хлеба и 4,4 балла – общая оценка.

При выполнении хлебопекарного анализа из муки сорта твердой пшеницы Кристелла в чистом виде показатели качества хлеба соответствовали уровню ценной пшеницы (объемный выход хлеба 607 мл и общая оценка хлеба 3,6 балла) (рис. 1).



1 – Универ 100 %; 2 – Кристелла 10 %; 3 – Кристелла 30 %; 4 – Кристелла 50 %; 5 – Кристелла 70 %; 6 – Кристелла 90 %; 7 – Кристелла 100 %

Рис. 1. Внешний вид пробной выпечки с использованием муки сорта озимой твердой пшеницы Кристелла в смеси с сортом озимой мягкой пшеницы Универ, урожай 2021 г.

Fig. 1. Appearance of the trial baking using the winter durum wheat flour 'Kristella' mixed with the winter common wheat flour 'Univer', yield of 2021

При изучении хлебопекарных свойств сорта Амазонка было установлено высокое качество хлеба при добавлении 10, 30 и 50 % муки данного сорта. Значения объемного выхода

хлеба и общей хлебопекарной оценки были на уровне требований, предъявляемых к сильным сортам (табл. 6).

Таблица 6. Показатели качества хлеба из смесей сортов озимой твердой пшеницы Амазонка и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.
Table 6. Quality indicators of bread from mixtures of the winter durum wheat variety 'Amazonka' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Объем хлеба, мл	Оценка, балл
Универ 100 %	737	4,5
10 % (Амазонка) : 90 % (Универ)	720	4,5
30 % (Амазонка) : 70 % (Универ)	687	4,2
50 % (Амазонка) : 50 % (Универ)	697	4,2
70 % (Амазонка) : 30 % (Универ)	670	3,9
90 % (Амазонка) : 10 % (Универ)	607	3,5
Амазонка 100 %	563	3,3
НСР _{0,5}	10,1	0,4

По мере увеличения доли муки сорта Амазонка (70, 90 и 100 %) наблюдалось ухудшение хлебопекарных свойств (объемного выход

да хлеба, пористости и эластичности мякиша, общей хлебопекарной оценки) (рис. 2).



1 – Универ 100 %; 2 – Амазонка 10 %; 3 – Амазонка 30 %; 4 – Амазонка 50 %; 5 – Амазонка 70 %; 6 – Амазонка 90 %; 7 – Амазонка 100 %

Рис. 2. Внешний вид пробной выпечки с использованием муки сорта озимой твердой пшеницы Амазонка в смеси с сортом озимой мягкой пшеницы Универ, урожай 2021 г.

Fig. 2. Appearance of the trial baking using the winter durum wheat flour 'Amazonka' mixed with the winter common wheat flour 'Univer', yield of 2021

Сорт озимой твердой пшеницы Эйрена в смеси с мягкой пшеницей Универ в среднем за изучаемый период сформировал высокое качество хлеба во всех вариантах. Значения

объемного выхода хлеба и общей хлебопекарной оценки не снижались и были на уровне сильной пшеницы (табл. 7).

Таблица 7. Показатели качества хлеба из смесей сортов озимой твердой пшеницы Эйрена и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.

Table 7. Quality indicators of bread from mixtures of the winter durum wheat variety 'Eirena' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

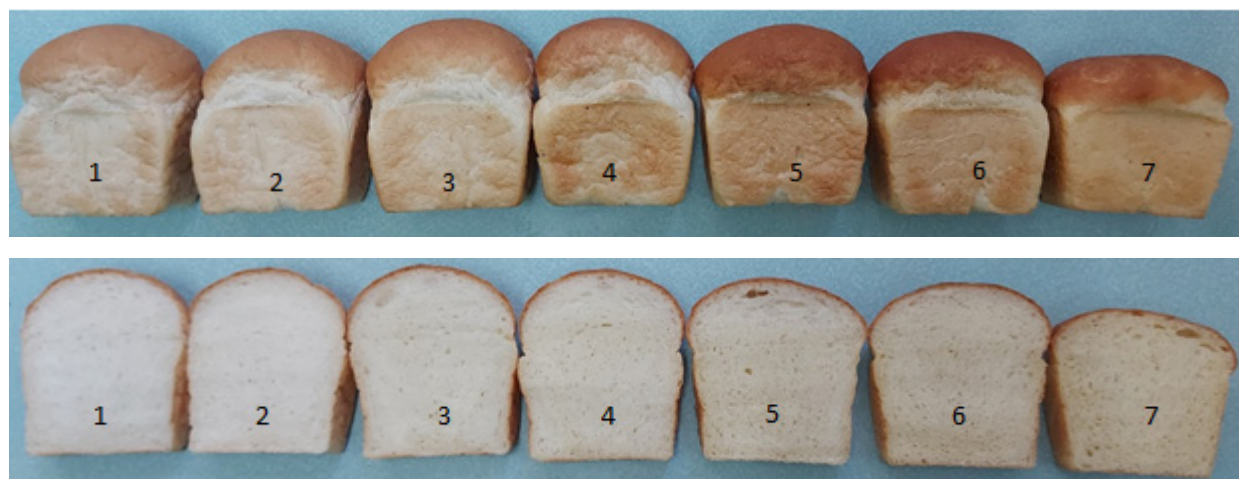
Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Объем хлеба, мл	Оценка, балл
Универ 100 %	737	4,5
10 % (Эйрена) : 90 % (Универ)	723	4,5
30 % (Эйрена) : 70 % (Универ)	737	4,5
50 % (Эйрена) : 50 % (Универ)	733	4,5
70 % (Эйрена) : 30 % (Универ)	743	4,5
90 % (Эйрена) : 10 % (Универ)	707	4,2
Эйрена 100 %	650	3,8
НСР _{0,5}	9,4	0,3

Проведенный хлебопекарный анализ из 100 %-й муки сорта Эйрена позволил установить объемный выход хлеба 650 мл и общую хлебопекарную оценку 3,8 балла, что соответствует ценной пшенице (рис. 3).

При определении хлебопекарных свойств сорта озимой твердой пшеницы Яхонт установлено, что во всех вариантах смесей данного сорта показатели качества хлеба были на уровне сильной пшеницы. В вариантах, когда добавляли 50 и 70 % сорта Яхонт, были получены максимальные значения общей хлебопекарной оценки и объемного выхода хлеба (табл. 8).

Хлеб, выпекаемый из муки сорта Яхонт (100 %), имел объемный выход 653 мл и общую хлебопекарную оценку 3,9 балла, что соответствует ценной пшенице (рис. 4).

Сорта твердой пшеницы Яхонт и Эйрена и смеси с их использованием имели лучшую выраженность реологических свойств и показателей качества выпеченного хлеба. Изучение технологических свойств этих образцов дает определенные перспективы их использования в хлебопечении.



1 – Универ 100 %; 2 – Эйрена 10 %; 3 – Эйрена 30 %; 4 – Эйрена 50 %; 5 – Эйрена 70 %; 6 – Эйрена 90 %; 7 – Эйрена 100 %

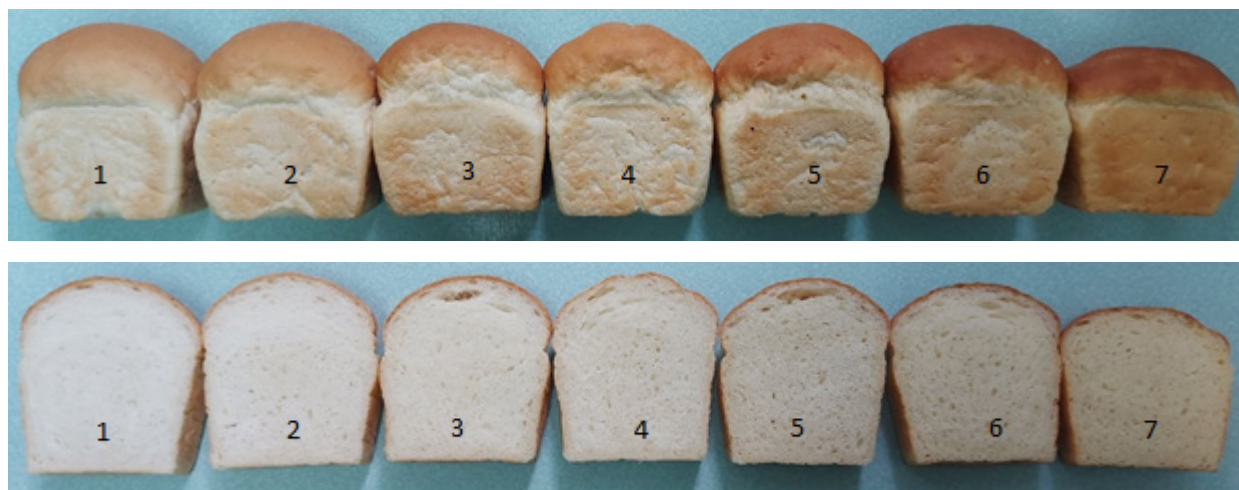
Рис. 3. Внешний вид пробной выпечки с использованием муки сорта озимой твердой пшеницы Эйрена в смеси с сортом озимой мягкой пшеницы Универ, урожай 2021 г.

Fig. 3. Appearance of the trial baking using the winter durum wheat flour 'Eirena' mixed with the winter common wheat flour 'Univer', yield of 2021

Таблица 8. Показатели качества хлеба из смесей сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и озимой мягкой пшеницы Универ, 2019–2021 гг.

Table 8. Quality indicators of bread from mixtures of the winter durum wheat variety 'Yakhont' and the winter common wheat variety 'Univer', 2019–2021

Соотношение муки твердой и мягкой пшеницы	Объем хлеба, мл	Оценка, балл
Универ 100 %	737	4,5
10 % (Яхонт): 90 % (Универ)	733	4,5
30 % (Яхонт): 70 % (Универ)	733	4,5
50 % (Яхонт): 50 % (Универ)	733	4,6
70 % (Яхонт): 30 % (Универ)	750	4,7
90 % (Яхонт): 10 % (Универ)	703	4,2
Яхонт 100 %	653	3,9
НСР _{0,5}	11,2	0,2



1 – Универ 100 %; 2 – Яхонт 10 %; 3 – Яхонт 30 %; 4 – Яхонт 50 %; 5 – Яхонт 70 %; 6 – Яхонт 90 %; 7 – Яхонт 100 %

Рис. 4. Внешний вид пробной выпечки с использованием муки сорта озимой твердой пшеницы Яхонт в смеси с сортом озимой мягкой пшеницы Универ, урожай 2021 г.

Fig. 4. Appearance of the trial baking using the winter durum wheat flour 'Yakhont' mixed with the winter common wheat flour 'Univer', yield of 2021

Выводы. В процессе исследований выявлены сортовые различия по реологическим и хлебопекарным свойствам. Применение фаринографического анализа в селекции озимой твердой пшеницы позволяет выделить образцы высокого качества, которые можно использовать в хлебопечении для расширения ассортимента изделий.

В результате исследований установлено, что сорт озимой мягкой пшеницы Кристелла

наиболее целесообразно использовать в смесях с мягкой пшеницей, но не более 50 %. Реологические и хлебопекарные свойства сорта озимой твердой пшеницы Амазонка в смеси с мягкой пшеницей сорта Универ наиболее полно раскрылись при соотношении 10 к 50 %. Сорта озимой твердой пшеницы Эйрена и Яхонт могут быть использованы для улучшения муки мягкой пшеницы, а также в самостоятельном виде для хлебопечения.

Библиографические ссылки

1. Васильчук Н. С., Гапонов С. Н., Еременко Л. В., Поршикова Т. М., Попова В. М., Цетва Н. М., Шутарева Г. И. Оценка прочности клейковины в процессе селекции твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) // Аграрный вестник Юго-Востока. 2009. № 3. С. 34–40.
2. Ляпунова О. А. Селекция твердой пшеницы в Италии // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 5(1). С. 19–34. DOI: 10.18699/Letters2019-5-3.
3. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(3). С. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370.
4. Сергачева Е. С., Терновской Г. В. Исследование возможности использования муки 2-го сорта из пшеницы durum в технологии производства пшеничного хлеба [Электронный ресурс] // Процессы и аппараты пищевых производств. 2010. № 2. С. 215–223. URL: http://openbooks.ifmo.ru/ru/article/7383/issledovanie_voz.mozhnosti_ispolzovaniya_muki_2go_sortaiz_pshenicy_durum_v_tekhnologii_proizvodstvapshenichnogo_hleba.html.
5. Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В. Влияние сортовых особенностей твердой пшеницы на технологические и хлебопекарные качества муки при смешивании с мягкой пшеницей // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 67–72. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-67-72>.
6. Шаболкина Е. Н., Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Технологические и хлебопекарные качества твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2017. № 5(53). С. 40–43.
7. Шаболкина Е. Н., Мясникова М. Г., Мальчиков П. Н., Пронович Л. В. Возможности использования зерна твердой пшеницы в хлебопекарной промышленности // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 4 (20). С. 90–97.
8. Штейнберг Т. С., Шведова О. Г., Кандроков Р. Х., Болотов В. И. Выбор цветовых характеристик для разработки метода идентификации примеси муки из мягкой пшеницы в муке из твердой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 12 (158). С. 175–181.
9. Pogna N. E., Gazza L., Corona V., Zanin R., Niglio A., Mie E., Palumbo M., Boggini G. Puroindolines and kernel hardness in wheat species. // Wheat quality elucidation: the Bushuk legacy. AACC, St. Paul, MN, USA. 2002. P. 155–169.

References

1. Vasil'chuk N. S., Gaponov S. N., Eremenko L. V., Porshikova T. M., Popova V. M., Tsetva N. M., Shutareva G. I. Otsenka prochnosti kleikoviny v protsesse selektsii tverdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) [Estimation of gluten strength in the breeding process of durum wheat (*Triticum durum* Desf.)] // Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka. 2009. № 3. S. 34–40.
2. Lyapunova O. A. Seleksiya tverdoi pshenitsy v Italii [Durum wheat breeding in Italy] // Pis'ma v Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. № 5(1). S. 19–34. DOI: 10.18699/Letters2019-5-3.
3. Polonskii V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Seleksiya na sodержanie antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya [Breeding for the content of antioxidants in grain as a promising direction to obtain healthy foods] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. № 22(3). S. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370.
4. Sergacheva E. S., Ternovskoi G. V. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya muki 2-go sorta iz pshenitsy durum v tekhnologii proizvodstva pshenichnogo khleba [Research on the possibility of using durum wheat flour of the 2nd grade in the technology of wheat bread production] [Elektronnyi resurs] // Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2010. № 2. S. 215–223. URL: http://openbooks.ifmo.ru/ru/article/7383/issledovanie_voz.mozhnosti_ispolzovaniya_muki_2go_sortaiz_pshenicy_durum_v_tekhnologii_proizvodstvapshenichnogo_hleba.html.
5. Shabolkina E. N., Anisimkina N. V. Vliyanie sortovykh osobennostei tverdoi pshenitsy na tekhnologicheskie i khlebopekarnye kachestva muki pri smeshivanii s myagkoi pshenitse [Effect of varietal characteristics of durum wheat on the technological and baking qualities of flour when mixed with common wheat] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 6(78). S. 67–72. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-67-72>.
6. Shabolkina E. N., Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G. Tekhnologicheskie i khlebopekarnye kachestva tverdoi pshenitsy [Technological and baking qualities of durum wheat] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 5 (53). S. 40–43.
7. Shabolkina E. N., Myasnikova M. G., Mal'chikov P. N., Pronovich L. V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya zerna tverdoi pshenitsy v khlebopekarnoi promyshlennosti [Possibilities of using durum wheat grain in the baking industry] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2016. № 4 (20). S. 90–97.

8. Shteinberg T.S., Shvedova O.G., Kandrov R. Kh., Bolotov V.I. Vybor tsvetovykh kharakteristik dlya razrabotki metoda identifikatsii primesi muki iz myagkoi pshenitsy v muke iz tverdoi pshenitsy [Selection of color characteristics for the development of a method to identify an impurity of common wheat flour in durum wheat flour] // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 12 (158). S. 175–181.

9. Pogna N.E., Gazza L., Corona V., Zanin R., Niglio A., Mie E., Palumbo M., Boggini G. Puroindolines and kernel hardness in wheat species. // Wheat quality elucidation: the Bushuk legacy. AACR, St. Paul, MN, USA. 2002. P. 155–169.

Поступила: 17.01.23; доработана после рецензирования: 27.02.23; принята к публикации: 27.02.23.

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. Кравченко Н.С., Игнатова Н.Г. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Иличкина Н.П. – проведение полевого опыта; Васюшкина Н.Е., Алты-Садых Ю.Н. – фаринографирование и проведение хлебопекарного анализа.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА КУЛЬТУРЫ ПЫЛЬНИКОВ *IN VITRO* ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГАПЛОИДНЫХ РАСТЕНИЙ ТРИТИКАЛЕ (×*TRITICOSECALE WITTMACK*)

В. Н. Акинина, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0003-3661-9246;

О. В. Хомякова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-5218-6076;

Т. И. Дьячук, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-7420-0521;

С. В. Жилин, аспирант лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6181-5279;

Е. К. Барнашова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0003-0384-9571;

Э. В. Калашникова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-3870-0542;

В. П. Куликова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0003-3071-0188

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»,

410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7; e-mail: cell_selection@list.ru

Культура пыльников является одним из наиболее востребованных методов получения гаплоидных растений тритикале. В статье представлены результаты изучения эффективности метода для получения гаплоидных растений у перспективных форм озимой тритикале селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Проведена оценка параметров гаплопродукции у изученных генотипов на двух питательных средах – С-17 и Р-2. Неотзывчивых к андрогенезу генотипов не было выявлено. Установлено, что среда Potato-2 оказала достоверное положительное влияние на общее число эмбриогенных структур на 100 культивируемых пыльников у четырех генотипов из шести изученных – значение показателя увеличилось в 1–3 раза. Среднее значение показателя ЭС/100КП составило 23,3 при варьировании 6,4–75,1. Наибольшее число ЭС выявлено у генотипа № 96 (F₅ Зимогор/оз. мягкая пш. Л.39) – 45,8 и 75,1 на индукционных средах С-17 и Р-2 соответственно. Наименьшими показателями характеризовались два генотипа: № 95 (F₄ ДН13/оз. мягкая пш. Аткара/Водолей/АДП-2///Colina) и № 97 (F₅ МАГ/Водолей/ТИ-17). Регенерация растений варьировала от 3,4 до 22,1 при среднем значении 12,6 на 100ЭС. Среднее число зеленых растений на 100ЭС составило 3,9 при варьировании показателя от 0,4 до 12,1. Доля зеленых растений в зависимости от генотипа изменялась от 5,0 до 76,9 %. Двухфакторный дисперсионный анализ выявил доминирующую роль генотипа на всех этапах гаплопродукции. Доля влияния питательной среды была статистически значимой, но незначительной по сравнению с генотипом. Установлено, что наряду с генотипической зависимостью и альбинизмом, ограничивающим фактором метода является и низкая частота регенерации эмбриоподобных структур. Всего в опыте из 7538 эмбриогенных структур получено 949 растений-регенерантов, из которых 326 зеленых. Соотношение зеленых растений к альбиносам составило 1 : 2.

Ключевые слова: тритикале (×*Triticosecale Wittmack*), селекция, гаплоидия, культура пыльников.

Для цитирования: Акинина В. Н., Хомякова О. В., Дьячук Т. И., Жилин С. В., Барнашова Е. К., Калашникова Э. В., Куликова В. П. Оценка эффективности метода культуры пыльников *in vitro* для получения гаплоидных растений тритикале (×*Triticosecale Wittmack*) // Зерновое хозяйство России. 2023. Т 15, № 2. С. 50–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-50-56.



ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF *IN VITRO* ANTHER CULTURE METHOD FOR OBTAINING HAPLOID TRITICALE PLANTS (×*TRITICOSECALE WITTMACK*)

V. N. Anikina, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0003-3661-9246;

O. V. Khomyakova, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-5218-6076;

T. I. Diyachuk, Doctor of Biological Sciences, main researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-7420-0521;

S. V. Zhilin, postgraduate of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6181-5279;

E. K. Barnashova, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0003-0384-9571;

E. V. Kalashnikova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-3870-0542;

V. P. Kulikova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0003-3071-0188

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Agricultural Research Center of South-East", 410010, Saratov, Tulaykov Str., 7; e-mail: cell_selection@list.ru

Anther culture is one of the most popular methods for obtaining haploid triticales plants. The current paper has presented the study results of the efficiency of the method for obtaining haploid plants in promising winter triticales forms bred by the Federal Agricultural Research Center of South-East. There has been estimated haploproduction parameters for the studied genotypes on the nutrient media C-17 and P-2. There were no genotypes unresponsive to androgenesis. There has been found that the medium Potato-2 had a significant positive effect on the total number of embryogenic structures per 100 cultivated anthers in four of the six studied genotypes when the index increased in 1–3 times. The mean value of the EC/100KP indicator was 23.3 with a variation of 6.4–75.1. The largest number of ES (45.8 and 75.1) was found in genotype No. 96 (F_5 Zimogor/win.br.wheat L.39) on induction media C-17 and P-2. The genotypes No. 95 and No. 97 were characterized by the lowest indicators F_4 DH13/ win.br.wheat 'Atkara'//Vodoley/ADP-2///Colina and F_5 MAG/Vodoley//TI-17. Plant regeneration varied from 3.4 to 22.1 with an average value of 12.6 per 100 EC. The mean number of green plants per 100 EC was 3.9, varying from 0.4 to 12.1. The proportion of green plants, depending on the genotype, varied from 5.0 to 76.9 %. Two-way analysis of variance has identified the dominant role of the genotype at all stages of haploproduction. The proportion of effect of the nutrient medium was statistically significant, but insignificant in comparison with the genotype. There has been established that, along with genotypic dependence and albinism, the limiting factor of the method is a low frequency of regeneration of embryo-like structures. In total, there were obtained 949 regenerated plants out of 7538 embryogenic structures, of which 326 were green. The ratio of green plants to albinos was 1:2.

Keywords: triticales ($\times$ Triticosecale Wittmack), breeding, haploidy, anther culture.

Введение. Тритикале ($\times$ Triticosecale Wittm.) – синтетический ботанический род семейства Мятликовых (Poaceae), объединяющий в одном геноме хромосомы пшеницы и ржи. На современном этапе тритикале является коммерческой культурой с многоцелевым использованием зерна, обладающей огромным потенциалом в качестве продукта питания человека и корма для животных. В условиях нарастания аридизации и континентальности климата проявилась высокая конкурентная способность этого вида по сравнению с другими злаками (Mergoum et al., 2019). Посевные площади под культурой в мире составляют около 4 млн га, производство зерна – более 14 млн т.

Для улучшения сортового разнообразия в селекции тритикале наряду с традиционными методами применяется гаплоидия. Эффективное получение гаплоидных растений (ДН-линий после удвоения числа хромосом) является ключевым фактором для их использования в теоретических исследованиях и практической селекции. Гомозиготные линии на основе гаплоидов могут быть получены в течение нескольких месяцев, что приводит к сокращению селекционного процесса в среднем на 5 лет. У большинства злаков для получения гаплоидных растений *in vitro* применяются три метода – культура пыльников, культура изолированных микроспор и отдаленная гибридизация, сопровождающаяся селективной элиминацией хромосом вида-опылителя (Niazian and Shariatpanahi, 2020). Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Для таких злаковых культур, как ячмень, пшеница и рис разработаны эффективные протоколы получения гаплоидных растений, которые включены в стандартные селекционные программы (Humphreys and Knox, 2015). У тритикале использование гаплоидных технологий в селекции сдерживается низкой эффективностью стандартных протоколов (Würschum et al., 2014).

Андрогенез *in vitro* (гаплоидный эмбриогенез, микроспоровый эмбриогенез, андроклиния) в культуре изолированных пыльников является одним из наиболее распространен-

ных и технически несложных методов получения гаплоидных растений. Метод основан на индукции микроспорового эмбриогенеза. В этом процессе незрелые пыльцевые зерна (микроспоры) переключаются на альтернативный (спорофитный) путь развития, который приводит к формированию эмбриоподобных структур (спорофитов) вместо пыльцевых зерен. Центральным процессом андрогенеза *in vitro* является дедифференциация микроспор и их последующее развитие в эмбриоды (спорофиты). Установлено, что конечная эффективность процесса андрогенеза зависит от трех независимых компонентов – эффективности формирования эмбриогенных структур, их способности к регенерации растений и частоты регенерации зеленых растений. Каждая из этих компонент находится под самостоятельным генетическим контролем (Abd El-Fatah et al., 2020). Выявлены основные критические факторы, сдерживающие внедрение метода в селекционные программы – генотипическая зависимость, альбинизм регенерантов и необходимость удвоения числа хромосом (Lantos et al., 2014).

Подбор оптимальных условий культивирования играет существенную роль в получении гаплоидных растений. Состав индукционных питательных сред оказывает влияние на изменчивость регенерантов тритикале (Pachota et al., 2022). Для инициации андрогенеза в культуре пыльников успешно используются различные варианты питательных сред с добавлением картофельного экстракта (Першина и др., 2013).

В селекционных программах проводится скрининг отзывчивых к андрогенезу генотипов и их включение в скрещивания для эффективного получения гомозиготных линий из гибридов ранних поколений (Петраш и др., 2022). Целью проведенных нами исследований явилась оценка эффективности гаплопродукции в культуре пыльников *in vitro* перспективных линий озимой гексаплоидной тритикале селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока».

Материалы и методы исследований. Донорные растения выращивали на опытном поле ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (г. Саратов).

Для опыта использовали 6 перспективных линий озимой тритикале различного происхож-

дения с неизвестными ранее параметрами гаплопродукции (табл. 1).

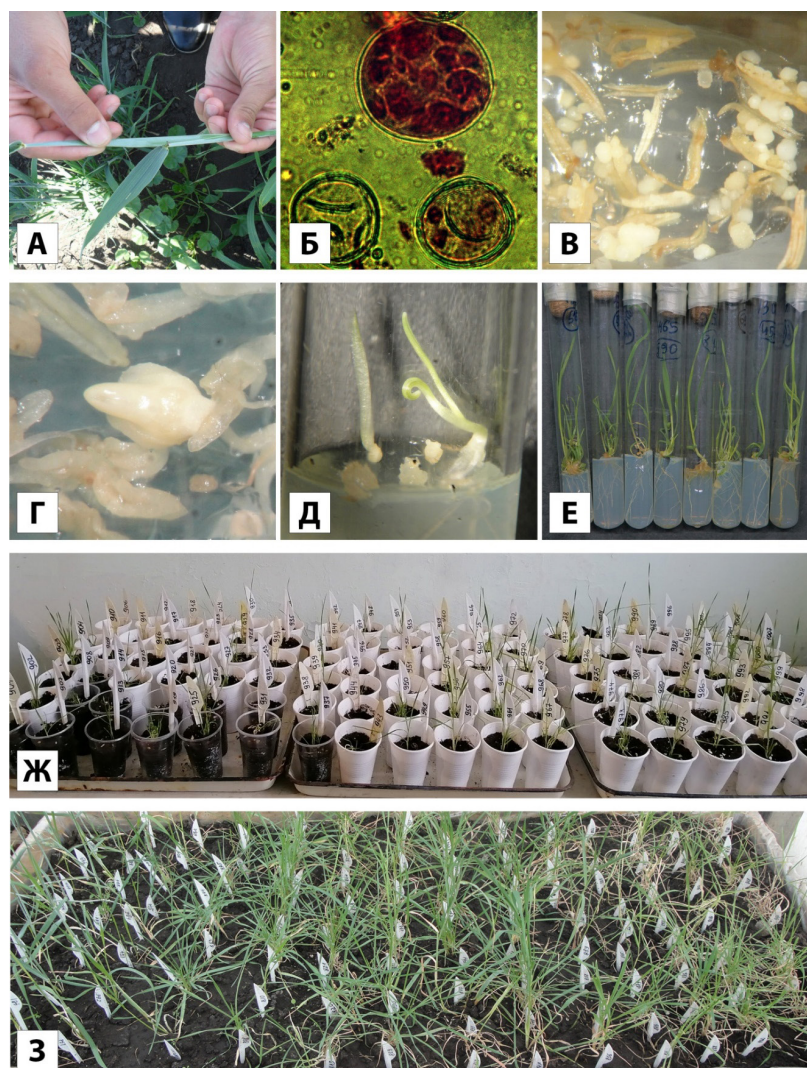
Таблица 1. Родословная перспективных форм тритикале
Table 1. Genealogy of the promising triticale forms

№ перспективной формы	Родословная перспективных форм
95	F ₄ ДН13/оз.мягкая пш. Аткара//Водолей/АДП-2/// Colina
96	F ₅ Зимогоп/оз.мягк.пш. Л.39
97	F ₅ МАГ/Водолей//ТИ-17
98	F ₄ ДН-21/Каприз
99	F ₅ Вокализ//МАГ/Водолей
100	F ₅ Святозар/ТИ-17

Примечание. / – первое скрещивание; // – второе скрещивание и т.д.

Отбор колосьев для культивирования проводили с главных побегов, когда микроспоры в пыльниках находились в средней или поздней одноядерной стадии развития.

Морфологически это соответствует расположению середины колоса на уровне предпоследнего листа (см. рис. А, Б).



Основные этапы получения гаплоидных растений тритикале: А – морфологический критерий стадии вакуолизированной микроспоры; Б – многоклеточная структура внутри оболочки микроспоры; В – эмбриогенные пыльники; Г – дифференцированный эмбрион; Д – начальные стадии регенерации растений; Е – растения-регенеранты; Ж – регенеранты в растительном боксе; З – растения в теплице

The main steps in obtaining haploid triticale plants: А – morphological criterion of the stage of vacuolized microspores; Б – multicellular structure inside a microspore shell; В – embryogenic anthers; Г – differentiated embryo; Д – initial stages of plant regeneration; Е – regenerated plants; Ж – regenerants in a vegetable box; З – plants in a greenhouse

Отобранные побеги выдерживали при температуре 4 °С в течение 14 суток. Стерилизацию колосьев проводили коммерческим препаратом «Белизна» в течение 8 мин с последующей 3-кратной промывкой стерильной дистиллированной водой. Пыльники вычленили в асептических условиях и помещали на косой агар в пробирки Ø 15 мм, содержащие 8 мл питательной среды (по 20 шт. на одну пробирку). Культивирование проводили на двух агаризованных питательных средах – С-17 и Potato-2 (Р-2), содержащих 2,4-Д в концентрации 2 мг/л, сахарозу (9 %), минеральные компоненты и витамины (согласно прописи этих сред). Для приготовления питательной среды, содержащей картофельный экстракт (Р-2), 200 г клубней (на 1 л среды) тщательно промывали, удаляли глазки, разрезали на мелкие кусочки и в течение 30 мин варили в 600 мл дистиллированной воды. После отжимания мацерата через два слоя марли жидкий экстракт смешивали с другими компонентами питательной среды. По каждой линии культивировали примерно 3 тыс. пыльников. Культивирование проводили в термостате в темноте при температуре 25–28 °С в течение 5 недель. Сформированные новообразования (эмбриоподобные структуры) размером более 1 мм переносили на питательную среду MS для регенерации растений с содержанием ИУК 0,5 мг/л, кинетина 0,2 мг/л и сахарозы 3 % (см. рис. В, Г).

Регенерация растений проходила при 16-часовом фотопериоде, освещении 10 тыс. лк и температуре 25–28 °С в течение 7–30 суток в зависимости от степени дифференциации ЭС. Растения-регенеранты проходили яровизацию в условиях *in vitro* при температуре 4 °С в течение 2 месяцев. Яровизированные растения высаживали в коммерческий пита-

тельный грунт «ТЕРРАВИТА УНИВЕРСАЛЬНЫЙ» (рН 6,0–6,5) в отдельные стаканчики и выращивали в растительном боксе до стадии кущения (16-часовой фотопериод, освещение 10 тыс. лк, температура 25–28 °С). Удвоение хромосомного набора проводили обработкой регенерантов раствором колхицина 0,2 % с добавлением 2 % ДМСО. После адаптации растений их выращивание проходило в тепличном боксе в стандартных условиях (см. рис. Д, Е, Ж, З).

Эффективность андрогенеза оценивали по следующим показателям: число эмбриогенных структур на 100 культивируемых пыльников (ЭС/100КП), общее число регенерантов на 100 эмбриогенных структур (Р/100ЭС), число зеленых растений на 100 эмбриогенных структур (ЗР/100ЭС) и их долю (ДЗР) в общем числе регенерантов.

Статистическая обработка данных выполнена методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ «AGROS.2.09».

Результаты и их обсуждение. При культивировании пыльников тритикале на двух индукционных питательных средах все изученные генотипы были отзывчивы как на формирование эмбриоподобных структур, так и регенерацию растений. Сравнение отдельных показателей андрогенеза *in vitro* показывает на неодинаковую реакцию разных генотипов, что согласуется с данными других исследователей (Lantos et al, 2014; Niazian and Shariatpanahi, 2020). Среднее значение показателя ЭС/100КП составило 23,3 при варьировании 6,4–75,1 (табл. 2). Наиболее отзывчивым был генотип № 96 (F₅ Зимогор/озимая мягкая пшеница Л.39) со значениями 45,8 и 75,1 структур на средах С-17 и Р-2 соответственно. Следует отметить, что в родословной этой перспективной линии участвует озимая мягкая пшеница.

Таблица 2. Результаты оценки эффективности культивирования пыльников тритикале на питательных средах С-17 и Р-2

Table 2. The results of estimating the cultivation efficiency of the triticales anthers on nutrient media C-17 and P-2

№ генотипа (фактор А)	Индукционная среда (фактор В)	ЧП	ЭС		Регенерация		Зеленые растения		
			шт.	ЭС/100 КП	шт.	Р/100 ЭС	шт.	ЗР/100 ЭС	ДЗР, %
95	С-17	2676	386	14,4	13	3,4	10	2,6	76,9
	Р-2	2296	161	7,0	9	5,6	1	0,6	11,1
96	С-17	2820	1292	45,8	190	14,7	71	5,5	37,3
	Р-2	2681	2014	75,1	253	12,6	68	3,4	26,9
97	С-17	2994	227	7,6	15	6,6	1	0,4	6,7
	Р-2	2797	180	6,4	20	11,1	1	0,6	5,0
98	С-17	2999	520	17,3	115	22,1	63	12,1	54,8
	Р-2	2709	670	24,7	82	12,2	42	6,3	51,2
99	С-17	2276	162	7,1	13	8,0	9	5,6	69,2
	Р-2	2666	583	21,9	37	6,3	27	4,6	72,9
100	С-17	2573	574	22,3	87	15,2	16	2,8	18,4
	Р-2	2815	769	27,3	115	15,0	18	2,3	15,6
Всего		32302	7538	–	949	–	326	–	–
Среднее значение		–	–	23,3	–	12,6	–	3,9	34,4
Фактор А (генотип) НСР ₀₅				2,1	–	6,5	–	0,9	4,1
Фактор В (среда) НСР ₀₅				1,2	–	3,8	–	0,5	2,4
Взаимодействие АВ НСР ₀₅				2,9	–	9,2	–	1,4	5,8

С учетом фактической разности частных средних значений ($d \geq НСР_{05}$), среда Р-2 оказала достоверное положительное влияние на общее число эмбрионных структур у четырех генотипов из шести изученных – в зависимости от генотипа значение показателя увеличилось в 1–3 раза. Снижение числа эмбрионных структур на среде Р-2 обнаружено только у одного генотипа (№ 95). Отзывчивость генотипа № 97 по этому показателю в зависимости от состава индукционных сред не изменилась.

Выраженность показателя «общее число регенерантов Р/100ЭС» отражает «качество» полученных эмбрионных структур, то есть степень их дифференцированности. У различных генотипов варьирование составило 3,4–22,1 растений на 100 ЭС. Достоверное превышение среднего значения показателя Р/100ЭС выявлено только у одного генотипа – № 98 на среде С-17.

Статистически значимого влияния индукционной питательной среды на регенерацию растений не обнаружено у четырех генотипов. У одного генотипа (№ 97) частота регенерации достоверно увеличилась на среде Р-2 и достоверно снизилась у генотипа № 98.

Наиболее важным показателем эффективности метода является выход зеленых растений/100 ЭС (ЗР/100ЭС). Значения показателя варьировали от 0,4 до 12,1. Статистически значимое превышение среднего значения проявили генотипы № 96 на среде С-17, № 98 и № 99 на среде С-17. Среда Р-2 достоверно снизила выход зеленых растений у четырех генотипов (№ 95, 96, 98 и 100). Доля зеленых

растений у изученных генотипов от их общего числа варьировала в зависимости от генотипа от 5,0 до 76,9 %. Необходимо отметить, что ранжир генотипов по отдельным показателям гаплопродукции не совпадал, что согласуется с литературными данными об их независимом генетическом контроле (Abd El-Fatah et al., 2020). В общей сложности из 7538 ЭС получено 949 растений, из которых 326 зеленых и 623 альбиносных с соотношением 1 : 2.

Для выявления зависимости показателей андрогенеза от генотипа и состава индукционных питательных сред был проведен двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 3). Установлена доминирующая роль генотипа на всех этапах гаплопродукции. Наибольшее влияние генотипа обнаружено на показатель ЭС/100КП, оно составило 86,2 %, питательной среды – 2 %, взаимодействие генотипа и питательной среды – 11,3 %. Показатель Р/100ЭС обусловлен влиянием генотипа на 64,2 %, питательной среды – на 8,0 % и взаимодействием этих факторов – на 26,6 %. Вклад генотипа в долю зеленых растений (ЗР/100ЭС) составил 71,4 %, питательной среды – 6,7 % и взаимодействия факторов – 21,2 %. Доля влияния питательной среды была статистически достоверной, но незначительной в сравнении с генотипом по всем показателям андрогенеза. Наиболее значительный вклад взаимодействия «генотип x питательная среда» выявлен на показатель Р/100ЭС. Влияние изученных факторов и их взаимодействия было статистически значимым.

Таблица 3. Статистический анализ влияния питательных сред и генотипа на продукцию эмбрионных структур, регенерацию растений и регенерацию зеленых растений

Table 3. Statistical analysis of the effect of nutrient media and a genotype on the production of embryogenic structures, plant regeneration and green plant regeneration

Источник изменчивости	ЭС/100 КП		Р/100 ЭС		ЗР/100 ЭС	
	SS	Доля влияния	SS	Доля влияния	SS	Доля влияния
Общий	9111,400	–	17495,193	–	16009,057	–
Генотип (А)	7859,080*	86,2	11234,844*	64,2	11437,746*	71,4
Среда (В)	183,708*	2,0	1404,534*	8,0	1080,039*	6,7
Взаимодействие	1028,311	11,3	4661,1839*	26,6	3397,429*	21,3
Ошибка	19,767	0,5	17,655	1,2	78,483	0,6

Примечание: * – влияние статистически значимо при $P \leq 0,05$.

Проведенные исследования показали, что, наряду с генотипической зависимостью и альбинизмом, ограничивающим фактором метода является и низкая регенерация эмбриоподобных структур. Одним из возможных факторов, влияющих на степень их дифференциации, является оптимизация питательных сред по типу и концентрациям экзогенных гормонов. Включение ауксина 2,4-Д в индукционные питательные среды позволило разработать эффективные протоколы получения гаплоидных растений. В качестве регуляторов роста в комбинации с 2,4-Д применяются цитокинины,

в частности, кинетин. Положительные результаты были получены при включении в состав индукционных питательных сред растительного гормона зеатина в концентрации 0,4 мг/л, что положительно повлияло на частоту дифференцированных эмбриоидов и регенерацию растений (Ержебаева и др., 2019).

Выводы.

1. Проведена оценка параметров гаплопродукции у изученных генотипов на двух индукционных питательных средах – С-17 и Р-2. Неотзывчивых к андрогенезу генотипов не было выявлено. Число эмбрионных структур

тур варьировало от 6,4 до 75,1 на 100 КП, регенерация растений – от 3,4 до 22,1 на 100 ЭС. Доля зеленых растений в зависимости от генотипа составила 5,0–76,9 %.

2. Кроме генотипической зависимости и высокой частоты альбинизма, важным сдерживающим фактором метода культуры пыльников тритикале является низкая регенерация ЭС. Из 7538 ЭС получено 949 растений, из которых 326 зеленых и 623 альбиносных с соотношением 1 : 2.

3. Установлена доминирующая роль генотипа на всех этапах получения гаплоидных растений тритикале. Доля влияния генотипа на индукцию эмбриоидных структур составила 86,2 %, регенерации растений – 64,2 % и выход зеленых растений – 71,4 %. Доля влияния питательной среды была статистически значимой, но незначительной в сравнении с генотипом на всех этапах гаплопродукции.

Библиографические ссылки

1. Ержебаева Р.С., Абдурахманова М.А., Бастаубаева Ш.О., Таджибаев Д.? Эмбриогенез и регенерация растений в культуре пыльников гексаплоидной тритикале (*xTriticosecale* Wittmack) под влиянием цитокинина зеатина // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 5. С. 934–945. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.934rus.
2. Першина Л.А., Осадчая Т.С., Бадаева Е.Д., Белан И.А., Россеева Л.П. Изучение особенностей андрогенеза в культуре пыльников сортов и перспективной формы яровой мягкой пшеницы западно-сибирской селекции, различающихся наличием или отсутствием пшенично-чужеродных транслокаций // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17, № 1. С. 40–49.
3. Петраш Н.В., Орлова Е.А., Лихенко И.Е., Пискарев В.В. Изучение эффективности культуры пыльников *in vitro* сортов и гибридов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-17-22.
4. Abd El-Fatah B.E. S., Sayed M.A., El-Sanussy S.A. Genetic analysis of anther culture response and identification of QTLs associated with response traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Molecular Biology Reports. 2020. Vol. 47, № 12. P. 9289–9300. DOI: 10.1007/s11033-020-06007-z.
5. Humphreys D.G., Knox R.E. Doubled Haploid Breeding in Cereals // Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding Biotechnology and Molecular Tools. 2015. P. 241–289. DOI: 10.1007/978-3-319-22521-0_9.
6. Lantos C., Bona L., Boda K., Pauk J. Comparative analysis of *in vitro* anther- and isolated microspore culture in hexaploid triticale (*xTriticosecale* Wittmack) for androgenetic parameters // Euphytica. 2014. Vol. 197. P. 27–37. DOI: 10.1007/s10681-013-1031-y.
7. Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A.E.A., Naraghi S.M., Pirseyedi S., Alamri M.S., AbuHammad W. Triticale (*xTriticosecale* Wittmack) Breeding // Advances in Plant Breeding Strategies. 2019. P. 405–451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11.
8. Niazi M., Shariatpanahi M.E. *In vitro*-based doubled haploid production: recent improvements // Euphytica. 2020. Vol. 216, Article number: 69. DOI: 10.1007/s10681-020-02609-7.
9. Pachota K.A., Orlowska R., Bednarek P.T. Medium composition affects the tissue culture-induced variation in triticale regenerants // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2022. Vol. 151. P. 35–46. DOI: 10.1007/s11240-022-02327-z.
10. Würschum T., Tucker M. R., Maurer H.P. Stress treatment influence efficiency of microspore embryogenesis and green plant regeneration in hexaploid triticale (*xTriticosecale* Wittmack L.) // In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant. 2014. Vol. 50. P. 143–148. DOI: 10.1007/s11627-013-9539-3.

References

1. Erzhebaeva R.S., Abdurakhmanova M.A., Bastaubaeva Sh. O., Tadzhibaev D. Embriogenez i regeneratsiya rastenii v kul'ture pyl'nikov geksaploidnoi tritikale (*xTriticosecale* Wittmack) pod vliyaniem tsitokinina zeatina [Embryogenesis and regeneration of plants in an anther culture of hexaploid triticale (*xTriticosecale* Wittmack) under the effect of cytokinin zeatin] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2019. T. 54, № 5. S. 934–945. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.934rus.
2. Pershina L.A., Osadchaya T.S., Badaeva E.D., Belan I.A., Rosseva L.P. Izuchenie osobennostei androgeneza v kul'ture pyl'nikov sortov i perspektivnoi formy yarovoi myagkoi pshenitsy zapadno-sibirskoi selektsii, razlichayushchikhsya nalichiem ili otsutstviem pshenichno-chuzherodnykh translokatsii [The study of the characteristics of androgenesis in an anther culture of varieties and a promising form of spring common wheat of West Siberian breeding, which differ in the presence or absence of wheat-alien translocations] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2013. T. 17, № 1. S. 40–49.
3. Petrashevskiy N.V., Orlova E.A., Likhnenko I.E., Piskarev V.V. Izuchenie effektivnosti kul'tury pyl'nikov *in vitro* sortov i gibridov myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) [The study of the effectiveness of an anther culture in vitro common wheat varieties and hybrids (*Triticum aestivum* L.)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-17-22.
4. Abd El-Fatah B.E. S., Sayed M.A., El-Sanussy S.A. Genetic analysis of anther culture response and identification of QTLs associated with response traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Molecular Biology Reports. 2020. Vol. 47, № 12. P. 9289–9300. DOI: 10.1007/s11033-020-06007-z.
5. Humphreys D.G., Knox R.E. Doubled Haploid Breeding in Cereals // Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding Biotechnology and Molecular Tools. 2015. P. 241–289. DOI: 10.1007/978-3-319-22521-0_9.
6. Lantos C., Bona L., Boda K., Pauk J. Comparative analysis of *in vitro* anther- and isolated microspore culture in hexaploid triticale (*xTriticosecale* Wittmack) for androgenetic parameters // Euphytica. 2014. Vol. 197. P. 27–37. DOI: 10.1007/s10681-013-1031-y.

7. Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A. E. A., Naraghi S. M., Pirseyedi S., Alamri M. S., AbuHammad W. Triticale ($\times$ Triticosecale Wittmack) Breeding // *Advances in Plant Breeding Strategies*. 2019. P. 405–451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11.
8. Niazian M., Shariatpanahi M. E. In vitro-based doubled haploid production: recent improvements // *Euphytica*. 2020. Vol. 216, Article number: 69. DOI:10.1007/s10681-020-02609-7.
9. Pachota K. A., Orłowska R., Bednarek P. T. Medium composition affects the tissue culture-induced variation in triticale regenerants // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2022. Vol. 151, P. 35–46. DOI: 10.1007/s11240-022-02327-z.
10. Würschum T., Tucker M. R., Maurer H. P. Stress treatment influence efficiency of microspore embryogenesis and green plant regeneration in hexaploid triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittmack L.) // *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 2014. Vol. 50. P. 143–148. DOI: 10.1007/s11627-013-9539-3.

Поступила: 25.01.23; доработана после рецензирования: 06.03.23; принята к публикации: 06.03.23.

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. Акинина В. Н. – постановка цели и задачи исследования; Хомякова О. В. – проведение лабораторных исследований и их интерпретация; Дьячук Т. И. – сбор литературных данных и подготовка рукописи; Жилин С. В. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Барнашова Е. К. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Калашникова Э. В. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Куликова В. П. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СКРИНИНГ *STB* ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К СЕПТОРИОЗУ У СОРТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Н. В. Новоселова, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, syllvana@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0638-4258;
А. В. Харина, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, Khavchas@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0554-5814;
Е. А. Бессолицына, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, bess2000@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5582-1709;
Л. С. Савинцева, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ORCID ID: 0000-0002-7878-4891
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», 610003, Кировская область, г. Киров, ул. Ленина, д. 166-а; e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

В настоящее время септориоз представляет собой одну из главных проблем при производстве зерна пшеницы во всем мире. Применение ДНК-маркеров для скрининга большого объема селекционного материала дает возможность быстро и точно идентифицировать гены устойчивости к септориозу пшеницы. В связи с этим в Федеральном аграрно-научном центре Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого провели поиск ДНК-маркеров, сцепленных с устойчивостью к *Z. tritici*, в генотипах коллекционного материала мягкой пшеницы. В ходе исследований было изучено 75 сортов яровой и 12 сортов озимой мягкой пшеницы на наличие генов *Stb2*, *Stb11*, *Stb12* и *Stb13*. В результате проведенных исследований лишь у 8,0 % сортов были обнаружены *Stb*-гены устойчивости к септориозу. В генотипе сорта яровой пшеницы Ирменка 1 определено наличие одновременно трех локусов устойчивости: *Stb2*, *Stb11* и *Stb13*, которые отвечают за возрастную и ювенильную устойчивость к болезни. Гены ювенильной устойчивости к септориозу *Stb11* и *Stb13* обнаружены в генотипе сорта яровой мягкой пшеницы Терция. Ген *Stb2*, контролирующий возрастную устойчивость к септориозу, обнаружен в генотипах сортов яровой пшеницы Дарья, Эгисар 29 и Epos. В генотипах озимых сортов Gene и Ble-seigle обнаружено по одному гену *Stb11* и *Stb13* соответственно. Ген устойчивости к септориозу *Stb12* у исследуемых сортов пшеницы не был выявлен. Все сорта яровой и озимой мягкой пшеницы с *Stb*-генами можно рекомендовать как источники устойчивости к септориозу в селекции с высокопродуктивными, адаптированными к местным условиям сортами.

Ключевые слова: мягкая пшеница, септориоз, *Zymoseptoria tritici*, *Stb*-гены, устойчивость.

Для цитирования: Новоселова Н. В., Харина А. В., Бессолицына Е. А., Савинцева Л. С. Скрининг *Stb*-генов устойчивости к септориозу у сортов мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 57–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-57-62.



SCREENING OF *STB* LEAF BLOTCH RESISTANCE GENES OF THE COMMON WHEAT VARIETIES

N. V. Novoselova, junior researcher of the laboratory for molecular biology and breeding, syllvana@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0638-4258;
A. V. Kharina, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for molecular biology and breeding, Khavchas@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0554-5814;
E. A. Bessolitsina, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for molecular biology and breeding, bess2000@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5582-1709;
L. S. Savintseva, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for molecular biology and breeding, ORCID ID: 0000-0002-7878-4891
FSBSI "Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky" 610007, Kirov, Lenin Str., 166-a; e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Currently, leaf blotch is one of the main problems in wheat production around the world. The use of DNA markers for screening a large amount of breeding material makes it possible to identify wheat leaf blotch resistance genes quickly and accurately. In this regard, the Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky conducted a search for DNA markers linked to *Z. tritici* resistance in the genotypes of the collection material of common wheat. There were studied 75 spring and 12 winter bread wheat varieties for the presence of the *Stb2*, *Stb11*, *Stb12* and *Stb13* genes. As a result, *Stb* leaf blotch resistance genes were found only in 8.0 % of varieties. In the genotype of the spring wheat variety 'Irmenka 1', there was determined the presence of three loci of resistance *Stb2*, *Stb11* and *Stb13*, which were responsible for age-related and juvenile resistance to the disease. The genes of juvenile leaf blotch resistance *Stb11* and *Stb13* were found in the genotype of the spring common wheat variety 'Tertsia'. The *Stb2* gene controlling age-related leaf blotch resistance was found in the genotypes of spring wheat varieties 'Dariya', 'Egisar 29' and 'Epos'. In the genotypes of winter varieties 'Gene' and 'Ble-seigle', there were found one gene *Stb11* and *Stb13*, respectively. The *Stb12* leaf blotch resistance gene was not identified in the studied wheat varieties. All spring and winter common wheat varieties with *Stb*-genes can be recommended as sources of leaf blotch resistance in breeding with highly productive varieties adapted to local conditions.

Keywords: common wheat, leaf blotch, *Zymoseptoria tritici*, *Stb*-genes, resistance.

Введение. В настоящее время септориоз представляет собой одну из главных проблем при производстве зерна пшеницы во всем мире и в России в частности (Бакулина и др., 2020; Коломиец и др., 2017). При септориозе поражаются листья растений, что снижает их фотосинтетическую активность, а также стебли, колосья и семена. Потери урожая в результате болезни могут составлять от 5 до 40 % (Коломиец и др., 2017; Liu et al., 2013). Наиболее вредоносными патогенами являются *Zymoseptoria tritici* (Desm.) и *Parastagonospora nodorum* (Berk.).

На данный момент идентифицировано 22 локуса качественной устойчивости к *Z. tritici* (т. н. *Stb*-гены). Устойчивость к септориозу, обусловленная данными генами, интересна благодаря сильному фенотипическому проявлению, что позволяет произвести отбор устойчивых форм за короткое время. При этом для достижения длительной устойчивости используют пирамидирование – сочетание нескольких локусов резистентности в одном генотипе (Бакулина и др., 2020; Mekonnen et al., 2019). Применение ДНК-маркеров для скрининга большого объема селекционного материала дает возможность быстро и точно идентифицировать гены устойчивости к септориозу

пшеницы (Brown et al., 2015; Rogers et al., 1985; Сухарева и Кулуев, 2018).

В связи с этим целью нашего исследования являлся поиск *Stb*-генов устойчивости к *Z. tritici* в генотипах коллекционного материала мягкой пшеницы.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований служили 75 сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург), изученные по хозяйственно ценным признакам в лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы Федерального аграрно-научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (г. Киров) в 2017–2019 годах. Также изучалась коллекция из 12 сортов озимой пшеницы, известных из литературы как источники *Stb*-генов.

Семена анализируемых образцов пшеницы были пророщены в рулонах фильтровальной бумаги. Выделение ДНК из 5-дневных проростков произведено методом CTAB (Röder et al., 1998). Для идентификации *Stb*-генов использовали SSR-маркеры, взятые из БД GrainGenes (GrainGenes, 2021) (табл. 1).

Таблица 1. SSR-маркеры, использованные для выявления *Stb*-генов
Table 1. SSR markers used to identify *Stb* genes

Ген	Маркер	Праймеры, прямой и обратный (5' - 3')	Ссылка
<i>Stb2</i>	Xgwm389	ATCATGTCGATCTCCTTGACG TGCCATGCACATTAGCAGAT	Mekonnen et al., 2019
	Xgwm533	AAGGCGAATCAAACGGAATA GTTGCTTTAGGGGAAAAGCC	
<i>Stb11</i>	Xbarc008	GCGGGAATCATGCATAGGAAACAGAA GCGGGGGCGAAACATACACATAAAACA	Liu et al., 2013
<i>Stb12</i>	Xwmc219	TGCTAGTTTGTCTATCCGGGCGA CAATCCCGTTCTACAAGTTCCA	Rogers et Bendich, 1985
<i>Stb13</i>	Xwmc396	TGCACTGTTTACCTTCACGGA CAAAGCAAGAACCAGAGCCACT	

Состав реакционной смеси на 10 мкл: ДНК – 2 мкл, 10 х PCR буфер – 1 мкл, смесь dNTPs (4mM) – 0,5 мкл, по 1 мкл прямого и обратно-

го праймера, Taq-полимераза – 3,75 ед., вода mQ – 3,75 мкл с требуемыми условиями ПЦР (табл. 2).

Таблица 2. Условия проведения ПЦР
Table 2. Conditions for PCR testing

Маркер	Температурный режим	Размер ампликона, п. н.
Xgwm389	I 95 °C – 5 мин; II 35 циклов: 95 °C – 30 с, 72 °C – 2 мин; III 72 °C – 10 мин	120
Xgwm533	I 94 °C – 3 мин; II 45 циклов: 94 °C – 1 мин, 60 °C – 1 мин, 72 °C – 2 мин; III 72 °C – 10 мин	150
Xbarc008	I 95 °C – 3 мин; II 35 циклов: 95 °C – 45 с, 61 °C – 45 с, 72 °C – 45 с; III 72 °C – 10 мин	245
Xwmc219	I 95 °C – 2 мин; II 35 циклов: 95 °C – 1 мин, 61 °C – 50 с, 72 °C – 1 мин; III 72 °C – 5 мин	204
Xwmc396		146

ПЦР выполнены на амплификаторе ТП4-ПЦР-01-«Терцик» («НПО ДНК-технология»). ПЦР-продукты были разделены в процессе вертикального электрофореза в 6,5–8,0 %-м полиакриламидном геле и окрашены бромистым этидием (1 %).

Результаты электрофореза документировали с помощью видеосистемы «Взгляд»

и ПО «IC Measure» («Компания Хеликон»). Размер амплифицированных фрагментов определяли с использованием 100bp+2Kb+3Kb ДНК-маркеров веса («СибЭнзим»).

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований было изучено 75 сортов яровой и 12 озимой мягкой пшеницы на наличие генов *Stb2*, *11*, *12* и *13*. В результате проведенных ис-

следований лишь у 8,0 % сортов были обнаружены *Stb*-гены устойчивости к септориозу.

Присутствие маркера Xgwm389, связанного с геном *Stb2*, отмечено у яровых сортов Дарья, Эгисар 29 и Ерос. Данный ген контролирует

устойчивость взрослых растений пшеницы к септориозу. На электрофореграмме скрининга сортов на присутствие в генотипе этого гена верхние полосы свидетельствуют о прохождении полимеразной цепной реакции (рис. 1).

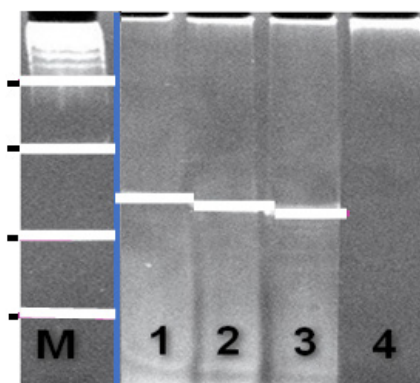


Рис. 1. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру Xgwm389 в 7 % ПААГ: 1 – Дарья; 2 – Эгисар-29; 3 – Ерос; 4 – отрицательный контроль; М – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 50, 100, 150, 200 п.н.)

Fig. 1. Gel-electrophoresis of amplification products with marker primers Xgwm389 in 7 % PAAG: 1 – Dariya; 2 – Egisar-29; 3 – Eros; 4 – negative control; M – molecular weight marker (band size from bottom to top: 50, 100, 150, 200 p.n.)

Для определения наличия гена возрастной устойчивости к септориозу *Stb2* у сортов яровой пшеницы использовали также маркер Xgwm533. С его помощью был обнаружен ген *Stb2* у сорта Ирменка-1 (рис. 2). Примечательно, что сорт Ирменка 1 сибирского происхождения показал наличие одновременно трех локусов устойчивости: *Stb2*, *Stb11* и *Stb13*, последние

два из которых действуют на растения в стадии проростков, то есть определяют ювенильную устойчивость сорта. Это говорит о том, что данный сорт перспективен для вовлечения в дальнейшие скрещивания с целью получения сортов пшеницы с возрастной и ювенильной устойчивостью и защитой растений во все фазы роста.

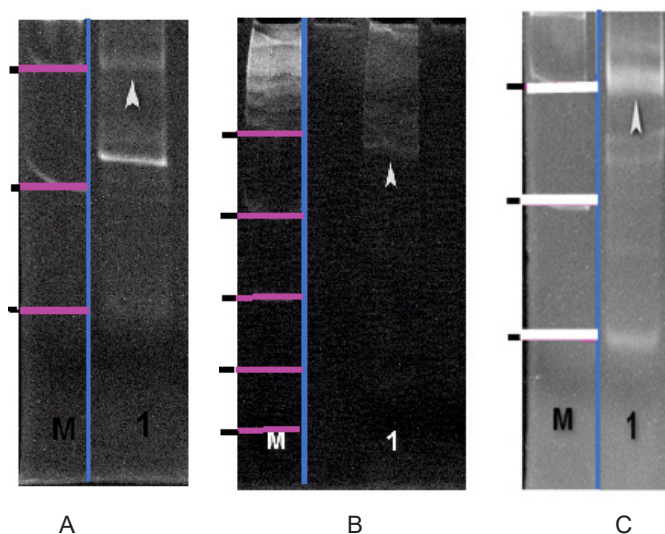


Рис. 2. Гель-электрофорез продуктов амплификации с праймерами к маркеру: А – Xgwm533 (*Stb2*); В – Xbarc008 (*Stb11*); С – Xwmc396 (*Stb13*) в 8% ПААГ. М – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 50, 100, 150, 200, 250 п.н.); 1 – Ирменка 1. Стрелкой отмечен целевой амплификат

Fig. 2. Gel-electrophoresis of amplification products with marker primers: А – Xgwm533 (*Stb2*); В – Xbarc008 (*Stb11*); С – Xwmc396 (*Stb13*) in 8% PAAG. М – molecular weight marker (band size from bottom to top: 50, 100, 150, 200, 250 p.n.); 1 – Irmenka 1. The arrow marks the target amplification

На электрофореграмме поиска образцов с маркером Xbarc008, связанного с геном *Stb11*, ампликон размером 245 пар нуклеотидов, аналогичный размеру ампликонов положительных контролей, идентифицирован у сорта яровой пшеницы Терция и озимой пшеницы Gene (рис. 3). У остальных сортов, представленных на электрофореграмме, целевой ген не идентифицирован.

Обнаружено присутствие маркера Xwmс396 в яровом сорте Терция и озимом Ble-seigle, связанного с геном *Stb13* (рис. 4).

Таким образом, в генотипе сорта яровой мягкой пшеницы Терция были обнаружены гены ювенильной устойчивости к септориозу *Stb11* и *Stb13*, которые защищают проростки от поражения.

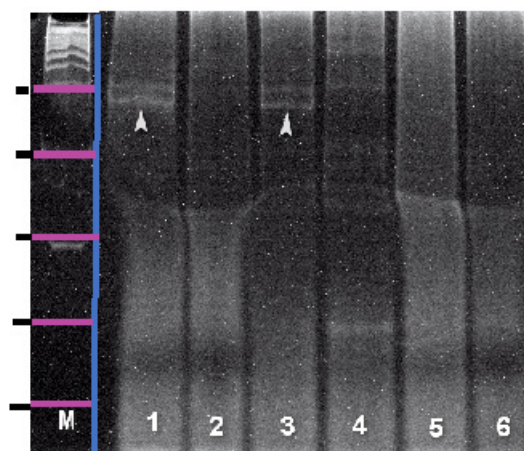


Рис. 3. Гель-электрофорез продуктов амплификации с маркером Xbarc008 (*Stb11*) в 6,5 % ПААГ: М – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 50, 100, 150, 200, 250 п.н.); 1 – Терция; 2 – Apache; 3 – Gene; 4 – Courtot; 5 – Epos; 6 – Tonic. Стрелками отмечены целевые амплификаты

Fig. 3. Gel-electrophoresis of amplification products with marker primers Xbarc008 (*Stb11*) in 6.5 % PAAG: М – molecular weight marker (band size from bottom to top: 50, 100, 150, 200, 250 p.n.); 1 – Tertsiya; 2 – Apache; 3 – Gene; 4 – Courtot; 5 – Epos; 6 – Tonic. The arrows mark the target amplifications

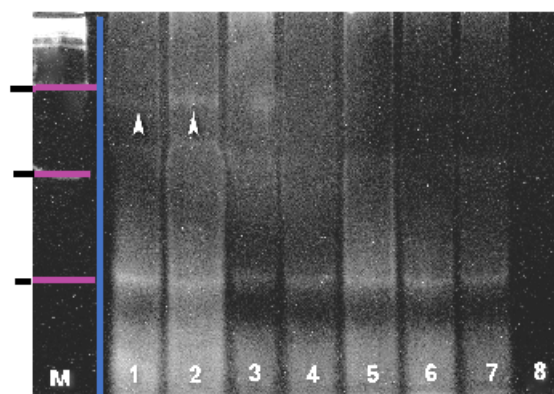


Рис. 4. Гель-электрофорез продуктов амплификации с маркером Xwmс396 (*Stb13*) в 8 % ПААГ: М – маркер молекулярного веса (размер бэндов снизу вверх: 50, 100, 150 п.н.); 1 – Ble-seigle; 2 – Терция; 3 – Heins Kolben; 4 – Apache; 5 – Poros; 6 – Gene; 7 – Amigo; 8 – отрицательный контроль. Стрелками отмечены целевые амплификаты

Fig. 4. Gel-electrophoresis of amplification products with marker primers Xwmс396 (*Stb13*) in 8 % PAAG: М – molecular weight marker (band size from bottom to top: 50, 100, 150 p.n.); 1 – Ble-seigle; 2 – Tertsiya; 3 – Heins Kolben; 4 – Apache; 5 – Poros; 6 – Gene; 7 – Amigo; 8 – negative control. The arrows mark the target amplifications

На содержание гена *Stb12* были проанализированы все сорта яровой и озимой пшеницы, но SSR-маркер Xwmс219, сцепленный с данным геном устойчивости, у исследуемых сортов выявлен не был.

В результате молекулярно-генетического анализа коллекционного материала яровой и озимой мягкой пшеницы на наличие *Stb*-генов было обнаружено семь сортов (табл. 3).

Таблица 3. Краткая характеристика сортов мягкой пшеницы, содержащих *Stb*-гены
Table 3. Brief characteristics of common wheat varieties containing *Stb*-genes

Сорт	Ген	Разновидность	Происхождение	Масса зерна с 1 м ² , г	Масса 1000 семян, г
Яровая мягкая пшеница					
Баженка, st	–	<i>Milturum</i>	Кировская обл.	238,3	37,3
Ирменка 1	<i>Stb2, Stb11, Stb13</i>	-/-	Новосибирская обл.	288,4	33,5
Терция	<i>Stb11, Stb13</i>	-/-	Омская обл.	223,2	35,0
Эгисар 29	<i>Stb2</i>	-/-	Саратовская обл.	378,2	38,5
Дарья	<i>Stb2</i>	-/-	Беларусь	346,3	33,2
Eros	<i>Stb2</i>	-/-	Германия	404,6	34,3
Озимая мягкая пшеница					
Скипетр, st	-	-/-	Липецкая обл.	332,0	42,2
Ble-seigle	<i>Stb13</i>	<i>Milturum</i>	-/-	240,0	37,9
Gene	<i>Stb11</i>	<i>Albidum</i>	США	120,0	39,1
НСР ₀₅				98,4	4,6

Все сорта яровой пшеницы превышали по урожайности стандартный сорт Баженка, что позволяет использовать их не только в селекции как источники генов устойчивости к септориозу, но и в производстве зерна в условиях Кировской области. Озимые сорта пшеницы с *Stb*-генами были менее продуктивны, чем стандартный сорт Скипетр. Особенно низкая урожайность, которая связана с плохой перезимовкой растений (2 балла) и высокой степенью поражения снежной плесенью (82,0 %), отмечена у сорта Gene. Поэтому необходимо рекомендовать их как источники устойчивости к септориозу в скрещиваниях с высокопродук-

тивными, адаптированными к местным условиям сортами.

Выводы. Таким образом, опытным путем подтверждена эффективность примененных в исследованиях маркеров и методов поиска генов устойчивости к септориозу в генотипах яровой и озимой мягкой пшеницы.

В результате молекулярно-генетического анализа коллекционного материала мягкой пшеницы было определено семь сортов-доноров *Stb*-генов, представляющих интерес для дальнейшей селекции на устойчивость к септориозу: Дарья, Эгисар 29, Eros, Ирменка 1, Терция, Ble-seigle, Gene.

Библиографические ссылки

- Бакулина А. В., Харина А. В., Широких А. А. Септориоз листьев и колоса пшеницы: генетический контроль устойчивости хозяина (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 26–35. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-2-026-035.
- Коломиец Т. М., Панкратова Л. Ф., Пахолкова Е. В. Сорта пшеницы (*Triticum* L.) из коллекции Grin (США) для использования в селекции на длительную устойчивость к септориозу // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 3. С. 561–569. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=29676764> (дата обращения 12.01.2022).
- Сухарева А. С., Кулуев Б. Р. ДНК-маркеры для генетического анализа сортов культурных растений // Биомика. 2018. Т. 10, № 1. С. 69–84. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15.
- Brown J. K., Chartrain L., Lasserre-Zuber P., Saintenac C. Genetics of resistance to *Zymoseptoria tritici* and applications to wheat breeding // Fungal Genetics and Biology. 2015. № 79. P. 33–41. DOI: 10.1016/j.fgb.2015.04.017.
- GrainGenes: A database for Triticeae and Avena. Albany, CA. [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://wheat.pw.usda.gov> (дата обращения 12.01.2022).
- Liu Y., Zhang L., Thompson I. A., Goodwin S. B., Ohm H. W. Molecular mapping re-locates the *Stb2* gene for resistance to *Septoria tritici* blotch from cultivar Veranopolis on wheat chromosome 1BS // Euphytica. 2013. Vol. 190. P. 145–156. DOI: 10.1007/s10681-012-0796-8.
- Mekonnen T., Haileselassie T., Kaul T., Sharma M., Geleta B., Tesfaye K. Molecular screening of *Zymoseptoria tritici* resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) using tightly linked simple sequence repeat markers // European Journal of Plant Pathology. 2019. Vol. 155, № 2. P. 593–614. DOI: 10.1007/s10658-019-01795-y.
- Röder M. S., Korzun V., Wendehake K., Plaschke J., Tixier M.-H., Leroy P., Ganal M. W. A microsatellite map of wheat // Genetics. 1998. Vol. 149, № 4. P. 2007–2023. DOI: 10.1093/genetics/149.4.2007.
- Rogers S. O., Bendich A. J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues // Plant Molecular Biology. 1985. № 5. P. 69–76. DOI: 10.1007/BF00020088.

References

- Bakulina A. V., Kharina A. V., Shirokikh A. A. Septorioz list'ev i kolosa pshenitsy: geneticheskii kontrol' ustoichivosti khozyaina (obzor) [Leaf blotch of wheat leaves and heads: genetic control of host resistance (review)] // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2020. № 2. S. 26–35. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-2-026-035.
- Kolomiets T. M., Pankratova L. F., Pakholkova E. V. Sorta pshenitsy (*Triticum* L.) iz kollektzii Grin (SShA) dlya ispol'zovaniya v selektsii na dlitel'nyuyu ustoichivost' k septoriozu [Wheat varieties (*Triticum* L.) from the Grin collection (USA) for use in breeding for long-term leaf blotch resistance] //

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2017. T. 52, № 3. S. 561–569. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=29676764> (date of the application 12.01.2022).

3. Sukhareva A. S., Kuluev B. R. DNK-markery dlya geneticheskogo analiza sortov kul'turnykh rastenii [DNA markers for genetic analysis of cultivated plant varieties] // Biomika. 2018. T. 10, № 1. S. 69–84. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15.

4. Brown J. K., Chartrain L., Lasserre-Zuber P., Saintenac C. Genetics of resistance to *Zymoseptoria tritici* and applications to wheat breeding // Fungal Genetics and Biology. 2015. № 79. P. 33–41. DOI: 10.1016/j.fgb.2015.04.017.

5. GrainGenes: A database for Triticeae and Avena. Albany, CA. [Elektronnyi resurs]. 2021. URL: <https://wheat.pw.usda.gov> (date of the application 12.01.2022).

6. Liu Y., Zhang L., Thompson I. A., Goodwin S. B., Ohm H. W. Molecular mapping re-locates the *Stb2* gene for resistance to *Septoria tritici* blotch from cultivar Veranopolis on wheat chromosome 1BS // Euphytica. 2013. Vol. 190, P. 145–156. DOI: 10.1007/s10681-012-0796-8.

7. Mekonnen T., Haileselassie T., Kaul T., Sharma M., Geleta B., Tesfaye K. Molecular screening of *Zymoseptoria tritici* resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) using tightly linked simple sequence repeat markers // European Journal of Plant Pathology. 2019. Vol. 155, № 2. P. 593–614. DOI: 10.1007/s10658-019-01795-y.

8. Röder M. S., Korzun V., Wendehake K., Plaschke J., Tixier M.-H., Leroy P., Ganal M. W. A microsatellite map of wheat // Genetics. 1998. Vol. 149, № 4. P. 2007–2023. DOI: 10.1093/genetics/149.4.2007.

9. Rogers S. O., Bendich A. J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues // Plant Molecular Biology. 1985. № 5. P. 69–76. DOI: 10.1007/BF00020088.

Поступила: 16.02.23; доработана после рецензирования: 09.03.23; принята к публикации: 09.03.23.

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. Новоселова Н. В. – проведение лабораторных опытов, анализ данных, подготовка рукописи; Харина А. В. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Бессолицына Е. А. – сбор данных; Савинцева Л. С. – проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СКРИНИНГ КОЛЛЕКЦИОННЫХ СОРТООБРАЗЦОВ МОГАРА ПО УРОЖАЙНОСТИ И БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ БИОМАССЫ

Т. В. Родина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела многолетних и однолетних трав, rodina008@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6670-417X;
А. Н. Асташов, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела многолетних и однолетних трав, alex-astashov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2744-9428;
О. С. Башинская, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела кукурузы и зернобобовых культур, ORCID ID: 0000-0002-9553-9994;
К. А. Пронудин, научный сотрудник отдела многолетних и однолетних трав, ORCID ID: 0000-0002-9760-6732
ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы,
410050, г. Саратов, ул. 1-й Институтский проезд, д. 4; e-mail: rossorgo@yandex.ru

В аридных условиях Нижневолжского региона могоар является перспективной кормовой культурой. Поэтому целью наших исследований являлось выявление перспективных образцов для создания новых сортов, которые отвечали бы требованиям отечественных сельхозтоваропроизводителей. В статье представлены результаты оценки сортобразцов могоара коллекции генетических ресурсов ВИР по морфометрическим показателям, урожайности и питательной ценности надземной биомассы. Исследования проводили в отделе многолетних и однолетних трав ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2021–2022 годах. Объектом изучения являлись 36 сортобразцов могоара различного эколого-географического происхождения. По результатам оценки исходного материала могоара выделены перспективные образцы для дальнейшего включения в селекционный процесс по увеличению значений отдельных признаков. На улучшение биохимического состава биомассы целесообразно использовать образцы: на повышение содержания *сырого протеина* ($>7,50\%$) – к-1356 (Россия), к-1745 (Болгария), к-1748 (Болгария), к-1775 (Румыния); *сырого жира* $>3,00\%$ – к-63 (США), к-80 (США), к-336 (Марокко), к-1854 (Венгрия), к-1877 (США); *сырой золы* $>10,00\%$ – к-1356 (Россия), к-1850 (Венгрия), к-1833 (Китай), Аскет (st) (Россия). Для селекционной работы на высокую *урожайность надземной биомассы* $>20,00$ т/га перспективны следующие сортобразцы: к-605 (Китай), к-1027 (Казахстан), Атлант (Россия). Изучаемые сортобразцы могоара – к-336, к-605, к-993, к-1027, к-1726 по сбору кормовых единиц с гектара превосходили сорт-стандарт от 1,2 до 12,9 %. Наибольший выход *валовой энергии* с единицы площади, превышающий показатель сорта-стандарт, отмечен у сортобразцов: к-336 (Марокко), к-605 (Китай), к-993 (Румыния), к-1027 (Казахстан), к-1726 (Канада), к-1775 (Румыния).

Ключевые слова: могоар, сортобразец, селекция, урожайность биомассы, протеин, валовая энергия.

Для цитирования: Родина Т. В., Асташов А. Н., Башинская О. С., Пронудин К. А. Скрининг коллекционных сортобразцов могоара по урожайности и биохимическому составу биомассы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 63–71. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-63-71.



SCREENING OF THE MOGAR COLLECTION SAMPLES ACCORDING TO PRODUCTIVITY AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF BIOMASS

T. V. Rodina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of perennial and annual grasses, rodina008@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6670-417X;
A. N. Astashov, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the department of perennial and annual grasses, alex-astashov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2744-9428;
O. S. Bashinskaya, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of maize and legume crops, ORCID ID: 0000-0002-9553-9994;
K. A. Pronudin, researcher of the department of perennial and annual grasses, ORCID ID: 0000-0002-9760-6732
FSBSI Russian Research and Project-technological Institute of sorghum and maize “Rossorgo”,
410050, Saratov, 1-st Institutsky, 4; e-mail: rossorgo@yandex.ru

In the arid conditions of the Lower Volga region, mogar is a promising fodder crop. Therefore, the purpose of the current study was to identify promising samples for the development of new varieties that would meet the requirements of domestic agricultural producers. The paper has presented the estimation results of the mogar varieties of the VIR genetic resources collection according to morphometric parameters, productivity, and nutritional value of aboveground biomass. The study was carried out in the department of perennial and annual grasses of the FSBSI Russian Research and Project-technological Institute of sorghum and maize “Rossorgo” in 2021–2022. The objects of study were 36 mogar varieties of various ecological and geographical origin. Based on the estimation results of the initial material of mogar, there have been identified the promising samples for further introduction in the breeding process to increase the values of individual traits, since it is advisable to use the following samples to improve the biochemical composition of the biomass, as k-1356 (Russia), k-1745 (Bulgaria), k-1748 (Bulgaria), k-1775 (Romania) to increase the content of crude protein ($> 7.50\%$); k-63 (USA), k-80 (USA), k-336 (Morocco), k-1854 (Hungary), k-1877 (the USA) to increase crude fat $> 3.00\%$; k-1356 (Russia), k-1850 (Hungary), k-1833 (China), Asket (st) (Russia) to increase crude ash $>10.00\%$. The varieties k-605 (China), k-1027 (Kazakhstan), Atlant (Russia) are found

promising for breeding work for high yields of aboveground biomass >20.00 t/ha. The studied mogar varieties k-336, k-605, k-993, k-1027, k-1726 according to the collection of fodder units per hectare exceeded the standard variety from 1.2 to 12.9 %. The highest gross energy yield per unit area, exceeding the indicator of the standard variety, was established for the varieties k-336 (Morocco), k-605 (China), k-993 (Romania), k-1027 (Kazakhstan), k-1726 (Canada), k-1775 (Romania).

Keywords: mogar, variety sample, breeding, biomass yield, protein, gross energy.

Введение. Формирование прочной кормовой базы для развития животноводства является важнейшим направлением при проведении научных исследований в области растениеводства. Выделение исходного материала для создания новых сортов, обладающих комплексом хозяйственно полезных признаков и адаптированных для выращивания в регионах с неблагоприятными климатическими условиями, остается основной задачей селекции. С этой целью в селекционный процесс вовлекаются новые формы, более эффективно используется генетическое разнообразие растений в сочетании с ценными морфобиологическими признаками и свойствами (Avetisyan et al., 2020; Садыгова и др. 2022; Rodina et al., 2022).

Могар (*Setaria Italica ssp. moharicum*) – перспективная однолетняя засухоустойчивая кормовая культура, формирующая при правильном использовании высокие урожаи качественной биомассы и зерна, но мало распространенная в Нижневолжском регионе, и в этой связи сорт здесь имеет особое значение в его распространении. Весьма актуальным представляется детальное изучение его исходного материала, а возросший в последние годы спрос на семена свидетельствует об актуальности и востребованности этой культуры (Николайченко и Жужукин, 2016; Вертикова, 2016; Капустин и др., 2018).

Интродукция имеет большое значение для развития сельского хозяйства. Обновление генетического материала за счет интродуцирования новых исходных форм является основой селекции сельскохозяйственных культур. Крайне необходимо осуществлять меры по подбору и внедрению высокопродуктивных, устойчивых к различным факторам среды сортов, отвечающих требованиям интенсивных технологий возделывания применительно к зональным особенностям. Основной задачей является подбор и рекомендации сортов и сортообразцов с наиболее высоким генетическим потенциалом продуктивности (Зотиков и Вилюнов, 2021; Донец и др., 2019).

Для успешного интродукционного процесса могара целесообразно использовать исходный материал Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР).

Цель наших исследований заключалась в оценке сортообразцов могара по морфологическим признакам и биохимическим показателям биомассы с последующим включением в селекционный процесс.

Материалы и методы исследований. Коллекция могара (*Setaria italica ssp. moharicum*) насчитывает 36 сортообразцов различного про-

исхождения: к-37 – Украина; к-63, к-80, к-1877 – США; к-336 – Марокко; к-463, к-1070 – Югославия; к-590, к-749, к-751, к-1027 – Казахстан, к-795 – Таджикистан; к-1033 – Дания, к-1726 – Канада; к-1743, к-1745, к-1748 – Болгария; к-993, к-1775 – Румыния; к-1818, к-1850, к-1854 – Венгрия; к-605, к-1356, к-1830, к-1628, к-1812, к-398, к-393, к-1851, к-1833 Китай; к-764, Атлант, Аскет, Скиф, Стоик – Россия.

Коллекционный питомник заложен в 2021–2022 гг. в селекционном севообороте ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», расположенном в пригородной микрорайоне Саратовского района Саратовской области, в южной части черноземной зоны Поволжья согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989). Для закладки питомника проведена подготовка почвы перед посевом, включающая боронование и две предпосевные культивации (КПС-6+МТЗ-82.1). Сортообразцы высевали в третьей декаде мая селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10 с шириной междурядий 70 см, норма высева – 100 шт. всхожих семян на 1 м². Площадь делянок – 7,7 м², повторность – трехкратная. Стандарт – Аскет, включенный в Государственный реестр селекционных достижений.

Почва опытного поля – чернозем южный, механический состав – тяжелосуглинистый с содержанием гумуса 5–6 %; нитратного азота – 3,0–4,5 мг, подвижного фосфора – 3–4 мг, обменного калия – 15–21 мг на 100 г почвы. Определение нитратов проводилось ионометрическим методом: ГОСТ 26951-86, определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина: ГОСТ 26205-91. Гидротермический коэффициент в годы проведения исследований составил: в 2021 г. – 0,77, в 2022 г. – 0,79, что относит регион к засушливым территориям.

Сортообразцы могара по признаку «высота растений» распределены согласно Классификатору вида *Setaria Italica* L. (1981) на группы: очень низкорослые (1) – <60 см, очень низкорослые (2) – 60–80 см, низкорослые (3)–81–100 см, низкорослые (4)–101–120 см, среднерослые (5)–121–140 см, среднерослые (6)–141–160 см, высокорослые (7) – 161–180 см, высокорослые (8) – 181–200 см, очень высокорослые (9) – > 200 см. Распределение сортообразцов могара по признаку «длина метелки»: очень короткая – <10 см, короткая – 11–20 см, средняя – 21–30 см, длинная – 31–40 см, очень длинная – >40 см. По продолжительности вегетационного периода сортообразцы могара разделили на группы: очень ранние – <70 суток, ранние – 70–90 суток, среднеспелые – 91–115 суток, позднеспелые – 116–140 суток, очень поздние – более 140 суток.

Биохимический состав надземной биомассы определяли в лаборатории биохимии и биотехнологии ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»: протеин – по Кьельдалю (ГОСТ 10846-91), жир – по методу Сокслета (ГОСТ 13496.15-2016), золу – методом сухого озоления (ГОСТ 26226-95), клетчатку – по Кюршнеру и Ганеку (ГОСТ 13496.2-91), БЭВ – методом расчета.

Расчет валовой энергетической ценности (ВЭ) биомассы проводили согласно методике зоотехнического анализа кормов на основании данных о биохимическом составе и энергетической ценности каждого питательного вещества по формуле:

$$ВЭ = 23,60 \times \text{протеин} + 39,65 \times \text{жир} + 17,59 \times \text{клетчатка} + 16,96 \times \text{БЭВ}$$

Статистическая обработка результатов исследований выполнена с помощью програм-

мы «AGROS» версии 2.09 методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (2014). Статистический анализ выборки включает вычисление точечных и интервальных оценок статистических параметров (средней – $\bar{x}$, ошибка средней – $S\bar{x}$, стандартного отклонения – S , дисперсии – S^2 , коэффициент вариации – V (%), асимметрии (коэффициент асимметрии – As , ошибка коэффициента асимметрии – Sa) и эксцесса (коэффициент эксцесса – Ex , ошибка коэффициента эксцесса – Se).

Результаты и их обсуждение. По географическому расположению сортообразцы могара коллекции генетических ресурсов растений ВИР распределились так: образцы из Китая – 22 %, России – 17 %, Казахстана – 11 % и т. д. (рис. 1). Насыщенность градиента цвета означает распределение количественных сортообразцов в регионе от наименьшего значения (бледно-желтый) к наибольшему (ярко-желтый).

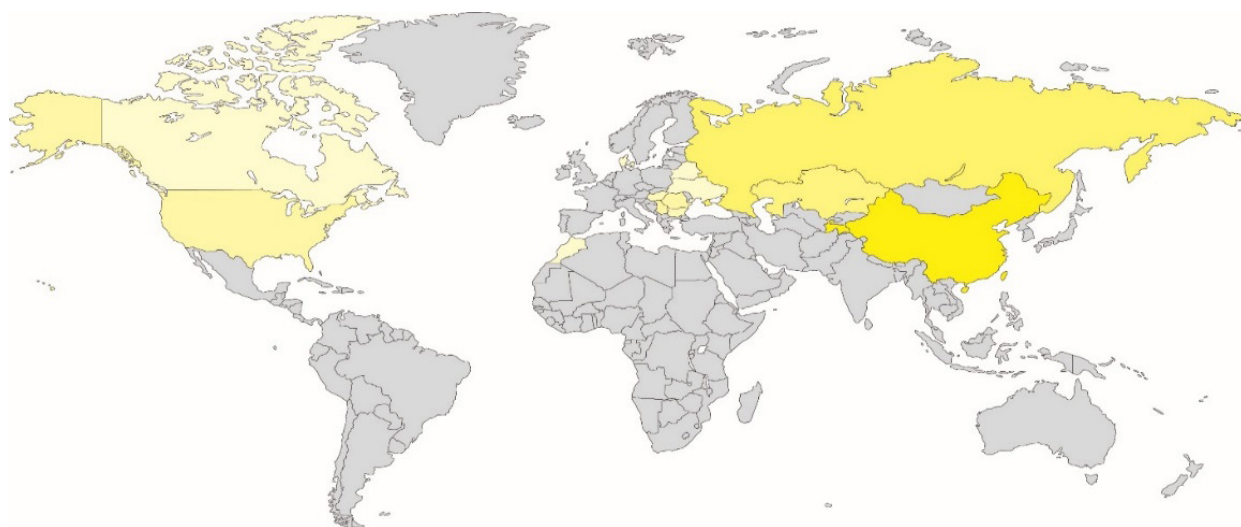


Рис. 1. Географическое расположение сортообразцов могара
Fig. 1. Geographical location of the mogar variety samples

В 2022 г. при оценке продолжительности вегетационного периода выделили группу из трех раннеспелых сортообразцов, что в целом составило 8,3 % от изучаемой коллекции. Наибольшая группа отмечена среди среднеспелых образцов могара и составила

91,7 % (33 образца) (табл. 1). Стоит отметить, что в 2021 г. 35 сортообразов могара были отнесены к среднеспелой группе и один образец (к-463), с продолжительностью вегетационного периода менее 90 дней, отнесен к группе раннеспелых.

Таблица 1. Распределение сортообразцов могара на группы спелости
Table 1. Distribution of the mogar variety samples into the groups of maturity

Группа спелости	Продолжительность, дни	Сортообразцы
Очень ранние	<70	–
Ранние	70–90	к-1027, к-1033, к-1743.
Среднеспелые	91–115	к-37, к-63, к-80, к-336, к-393, к-398, к-463, к-590, к-605, к-749, к-751, к-764, к-795, к-993, к-1070, к-1356, к-1726, к-1745, к-1748, к-1775, к-1812, к-1818, к-1830, к-1850, к-1851, к-1854, к-1833, к-1628, к-1877, Атлант, Аскет, Скиф, Стоик
Позднеспелые	116–140	–
Очень поздние	> 140	–

По признаку «высота растений» в 2021 г. все сортообразцы могара отнесены к группе очень

низкорослых и низкорослых растений с различным индексом проявления признака: боль-

шая часть (44,4 %) образцов вошла в группу низкорослых с индексом проявления признака 3, а диапазон варьирования находился в пре-

делах от 81,4 до 100,6 см; группа очень низкорослых растений могара составила 41,7 % (табл. 2).

Таблица 2. Распределение сортообразцов могара по признаку «высота растений»
Table 2. Distribution of the mogar variety samples according to 'plant height'

Группа	Индекс проявления признака	Высота растений, см	Количество образцов	
			шт.	%
Очень низкорослые	2	60–80	15 / 1	41,7 / 2,8
Низкорослые	3	81–100	16 / 9	44,4 / 25,0
Низкорослые	4	101–120	5 / 24	13,9 / 66,7
Среднерослые	5	121–140	– / 2	– / 5,5

Примечание. Через / указаны значения за 2021/2022 г.

При селекции сортов могара особое значение имеет высота растений, так как она достаточно тесно коррелирует с урожайностью биомассы. Однако стоит отметить, что урожайность биомассы могара зависит не только от высоты растений, но и от общей кустистости, толщины стебля, облиственности (Вертикова, 2018). Анализ сортообразцов могара в 2022 г. показал, что большая часть (66,7 %) образцов вошла в группу низкорослых с индексом проявления признака 4, где диапазон варьирования по данному признаку находился в пределах от 102,1 до 118,1 см. Группа низкорослых образцов могара с индексом проявления признака 3 составила 25,0 %, в нее вошло 9 образцов изучаемой коллекции. К группе очень низкорослых растений отнесен один образец (к-1877), а в группу среднерослых вошло

два образца – к-1070 и к-1818. Стоит отметить, что группа высокорослых и очень высокорослых сортообразцов в изучаемой коллекции за годы проведения исследований отсутствовала.

Высота растений изучаемых образцов могара в 2021 г. варьировала в пределах от 56,2 до 120,0 см, а в 2022 г. – от 73,5 до 127,7 см (рис. 2). Наибольшие значения высоты растений в 2021 г. (>100,0 см) отмечены у сортообразцов могара к-37, к-80, к-764, к-1818, Стоик; наименьшие (<70,0 см) у сортообразцов к-398, к-1356, к-1830, к-1854, к-1628. В 2022 г. высота растений >110,0 см отмечена у сортообразцов к-37, к-398, к-795, к-1033, к-1070, к-1356, к-1743, к-1748, к-1775, к-1818, к-1850, к-1854, Стоик; а наименьшая (<80,0 см) у сортообразца к-1877.

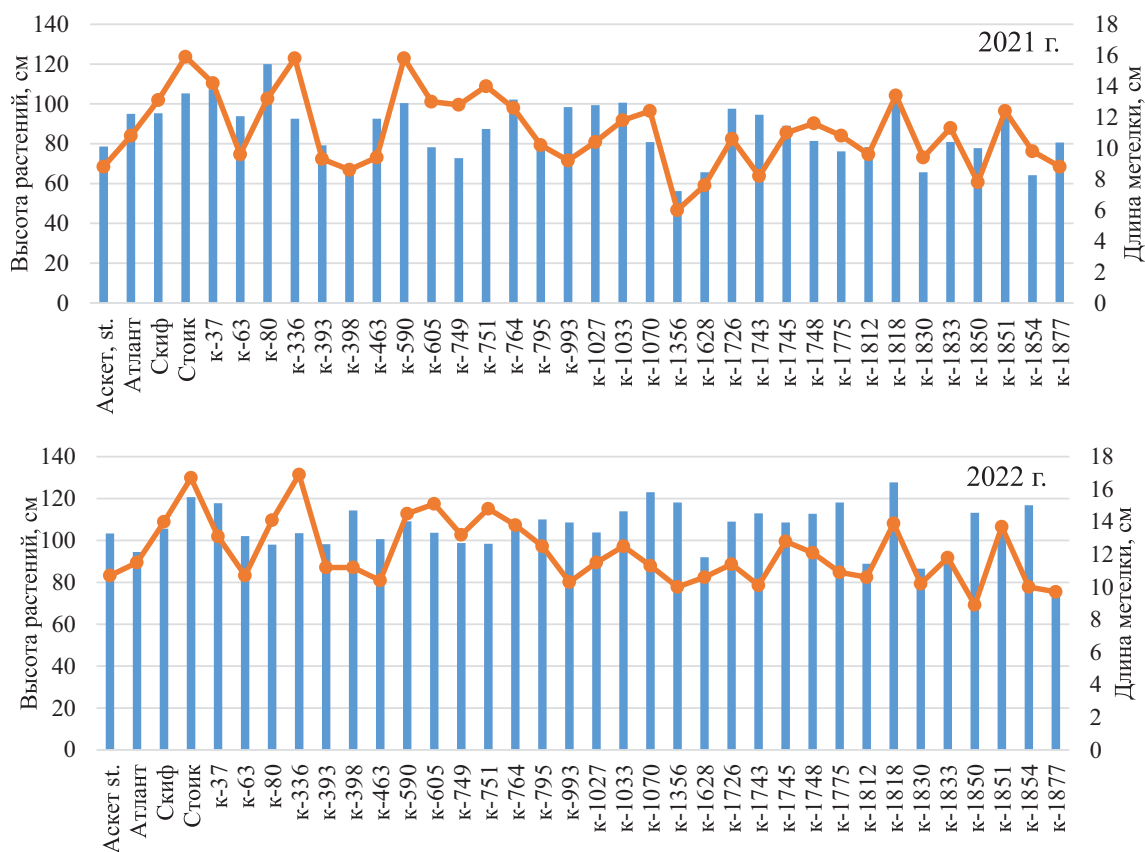


Рис. 2. Высота растений и длина метелки сортообразцов могара
Fig. 2. 'Plant height' and 'panicle length' of the mogar variety samples

При распределении сортообразцов могара в 2021 г. по признаку «длина метелки» размах варьирования составил 6,0–15,9 см. Максимальный показатель по этому признаку (> 14,0 см) отмечен у сортообразцов к-37, к-336, к-590, к-751, Стоик. Длина метелки <10,0 см отмечена у сорта стандарта Аскет и образцов к-63, к-398, к-393, к-463, к-993, к-1356, к-1743, к-1850, к-1854, к-1877, к-1830, к-1628, к-1812.

В 2022 г. размах варьирования по признаку «длина метелки» составил от 9,6 до 21,2 см. Максимальный показатель по этому признаку (> 14,0 см) отмечен у к-80, к-336, к-590, к-605, к-751,

Скиф, Стоик. Необходимо отметить, что в 2022 г. длина метелки <10,0 см не установлена ни у одного сортообразца могара коллекции ВИР.

Статистическая оценка морфометрических показателей сортообразцов могара коллекции ВИР за годы изучения показала среднюю степень коэффициента вариации по признаку «высота растений» (табл. 3). По признаку «длина метелки» коэффициент вариации в 2021 г. показал высокую степень коэффициента вариации – 22,19 %, а в 2022 г. – 16,34 %, при этом среднее значение в опыте составило: в 2021 г. – 11,07 см, а в 2022 г. – 12,13 см.

Таблица 3. Статистические параметры морфометрических показателей сортообразцов могара коллекции ВИР
Table 3. Statistical parameters of morphometric parameters of the mogar variety samples from the VIR collection

Параметр	Высота растений, см	Длина метелки, см
$\bar{x}$	86,93 / 105,71	11,07 / 12,13
$S\bar{x}$	2,42 / 1,89	0,41 / 0,33
S^2	211,48 / 127,98	6,03 / 3,93
S	14,54 / 11,31	2,46 / 1,98
$V, \%$	16,73 / 10,71	22,19 / 16,34
As	0,04 ns / -0,56 ns	0,24 ns / 0,70 ns
Sa	0,39 / 0,39	0,39 / 0,39
Ex	-0,47 ns / 0,66 ns	-0,47 ns / -0,14 ns
Se	0,75 / 0,76	0,76 / 0,76
Lim: min-max	56,2–120,0 / 73,5–127,7	6,00–15,90 / 8,9–16,9
n	36	36

Примечание. Через / указаны значения 2021/2022 г.; ns – незначимо, n – объем выборки.

Размах варьирования показателей качества сырой биомассы сортообразцов могара в фазу молочной спелости за годы исследований составил: сырой протеин – 4,84–8,75 %; сырой жир – 1,77–3,34 %; зола – 7,01–11,00 %, клетчатка – 30,61–37,85 % (табл. 4). У сорта стандарта Аскет содержание сырого протеина составило 6,56 %. Изучаемые сортообразцы к-1356, к-1745, к-1748, к-1775 по данному показателю

достоверно превосходили стандарт, а содержание сырого протеина составило более 7,50 %. Содержание жира определяет прежде всего энергетическую ценность корма. В наших опытах содержание сырого жира >3,00 % установлено у следующих сортообразцов: к-63, к-80, к-336, к-1854, к-1877. Содержание сырой золы в зеленой массе >10,0 % отмечено у образцов к-1356, к-1850, к-1833, Аскет (st).

Таблица 4. Биохимический состав биомассы образцов могара (среднее 2021–2022 гг.)
Table 4. Biochemical composition of the biomass of the mogar variety samples (mean in 2021–2022)

№ по каталогу ВИР	Содержание питательных веществ, % на абсолютно сухое вещество					Сухое вещество, %
	сырой протеин	сырой жир	сырая зола	сырая клетчатка	БЭВ	
Аскет, st	6,56	2,39	10,06	37,85	43,15	39,74
Атлант	6,85	2,35	9,58	35,73	45,50	37,12
Скиф	7,27	2,29	9,28	36,77	44,41	37,57
Стоик	6,68	2,59	7,64	31,79	51,31	37,00
к-37	6,00	1,87	8,44	36,86	46,84	39,91
к-63	4,91	3,00	8,43	36,07	47,60	40,65
к-80	6,03	3,03	8,12	35,15	47,68	45,16
к-336	6,19	3,34	6,62	30,61	53,25	43,52
к-398	4,84	2,35	9,42	35,30	48,10	36,93
к-393	6,85	2,30	7,89	34,79	48,18	37,38
к-463	6,69	2,98	7,67	31,86	50,81	41,06
к-590	7,00	2,51	7,53	32,60	50,37	41,20
к-605	6,90	2,45	8,00	34,20	48,46	39,08
к-749	7,09	2,43	7,24	35,82	47,43	40,68
к-751	5,43	2,51	9,20	35,88	46,98	41,32
к-764	5,97	2,27	8,04	36,86	46,87	40,75

Окончание табл. 4

№ по каталогу ВИР	Содержание питательных веществ, % на абсолютно сухое вещество					Сухое вещество, %
	сырой протеин	сырой жир	сырая зола	сырая клетчатка	БЭВ	
к-795	6,81	2,45	7,41	34,31	49,03	42,48
к-993	5,95	2,08	7,92	37,57	46,48	41,17
к-1027	7,31	1,95	7,01	34,15	49,60	40,17
к-1033	6,06	1,85	8,80	35,87	47,43	41,70
к-1070	6,57	2,09	7,94	32,10	51,30	42,89
к-1356	7,89	2,51	11,00	36,42	42,19	39,56
к-1628	6,08	2,68	8,21	33,93	49,11	38,19
к-1726	6,00	1,77	7,91	37,48	46,84	41,42
к-1743	7,19	2,62	9,08	33,34	47,78	43,59
к-1745	7,75	2,04	9,11	34,00	47,11	40,87
к-1748	7,78	2,55	8,72	33,11	47,86	43,81
к-1775	8,75	2,28	8,56	31,44	48,97	42,07
к-1812	7,26	1,85	7,95	33,72	49,23	36,08
к-1818	6,84	2,92	9,70	34,90	45,65	39,99
к-1830	6,90	2,82	9,39	35,04	45,86	40,18
к-1833	7,15	2,80	10,00	34,01	46,06	36,97
к-1850	7,09	1,99	10,46	36,29	44,18	39,10
к-1851	6,66	2,10	7,61	35,78	47,86	39,94
к-1854	6,79	3,12	8,79	34,27	47,05	40,08
к-1877	6,03	3,10	8,44	34,36	48,08	42,68
НСП ₀₅	0,04	0,02	0,06	0,10	0,13	0,15

Статистическая оценка элементов урожайности биомассы сортообразцов могоара коллекции ВИР показала среднюю степень коэффициента вариации – 17,68 %, а среднее содержание изучаемого показателя составило 15,97 % (табл. 5). Степень изменчивости признака по сырому протеину, сырому жиру и сырой

золе отмечена как «средняя» и составила 11,94, 16,69 и 11,73 % соответственно. При оценке биохимического состава слабая степень коэффициента вариации отмечена по следующим показателям: сырая клетчатка ($V = 5,26$ %) и БЭВ ($V = 4,73$ %).

Таблица 5. Статистические параметры элементов урожайности и биохимического состава биомассы сортообразцов могоара коллекции ВИР
Table 5. Statistical parameters of the elements of productivity and of the biochemical composition of the biomass of the mogar variety samples from the VIR collection

Параметр	Урожайность биомассы, т/га	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая зола, %	Сырая клетчатка, %	БЭВ, %
$\bar{x} \pm S\bar{x}$	15,97±0,47	6,67±0,13	2,45±0,07	8,53±0,17	34,73±0,30	47,66±0,38
$S^2 \pm S$	7,98±2,82	0,64±0,80	0,17±0,41	1,00±1,00	3,34±1,83	5,07±2,25
V, %	17,68	11,94	16,69	11,73	5,26	4,73
As	0,08 ns	–0,08 ns	0,27 ns	0,46	–0,36 ns	–0,03 ns
Sa	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Ex	–0,39 ns	0,87 ns	–0,67 ns	–0,14 ns	–0,45 ns	0,85 ns
Se	0,77	0,77	0,76	0,77	0,77	0,76
Lim.: Min–max	9,90–21,80	4,84–8,75	1,77–3,34	6,62–11,00	30,61–37,85	42,19–53,25
n	36	36	36	36	36	36

Примечание. n – объем выборки, ns – не значимо.

Диапазон варьирования урожайности сортообразцов могоара в фазу молочной спелости надземной биомассы значительно варьировал и отмечен от 9,60 до 21,20 т/га, в сухом состоянии – от 4,04 до 8,76 т/га, и показал минимальные значения у сортообразца к-764, а максимальные – у образца к-1027. Урожайность надземной биомассы стандарта составила 19,55 т/га. По данным В.Л. Копыловича и Н.М. Шестака (2016), выращивание могоара сорта Аскет в ус-

ловиях Республики Беларусь за годы проведения исследований позволило получить урожай зеленой массы от 16,0 до 29,8 т/га.

Выявленная изменчивость признаков позволяет вести селекционную работу с сортообразцами: на высокую урожайность надземной биомассы (>20,00 т/га) – к-605, к-1027, Атлант; на высокое содержание сырого протеина в сухой биомассе (>0,50 т/га) – к-336, к-605, к-1027, к-1745, к-1748, Атлант (табл. 6).

Изучаемые сортообразцы могоара – к-336, к-605, к-993, к-1027, к-1726 по сбору кормовых единиц с гектара превосходили сорт стандарт от 1,2 до 12,9 %.

Интервал изменчивости энергетической ценности надземной биомассы варьировал от 16,34 до 17,20 МДж/кг. Выход валовой энер-

гии с гектара установлен в пределах от 67,58 до 148,13 ГДж/га. Наибольший выход валовой энергии с единицы площади, превышающий показатель сорта-стандарта, отмечен у сортообразцов к-336, к-605, к-993, к-1027, к-1726, к-1775.

Таблица 6. Энергетическая оценка биомассы сортообразцов могоара (2021–2022 гг.)
Table 6. Energy estimation of the biomass of the mogar variety samples (2021–2022)

№ по каталогу ВИР	Выход с гектара, т				Валовая энергия в 1 кг сухой биомассы, МДж/кг	Выход валовой энергии, ГДж/га
	надземной биомассы	сухого вещества	сырого протеина	кормовых единиц		
Аскет, st	19,55	7,76	0,51	5,44	16,47	127,81
Атлант	20,70	7,68	0,53	5,38	16,55	127,09
Скиф	17,40	6,54	0,48	4,57	16,63	108,66
Стоик	17,90	6,62	0,44	4,63	16,90	111,83
к-37	14,65	5,84	0,35	4,09	16,58	96,75
к-63	15,65	6,37	0,31	4,46	16,77	106,69
к-80	14,85	6,70	0,41	4,69	16,89	112,95
к-336	18,25	8,00	0,50	5,60	17,20	137,31
к-393	13,90	5,20	0,36	3,64	16,82	87,50
к-398	15,05	5,57	0,27	3,90	16,44	91,51
к-463	13,35	5,47	0,37	3,83	16,98	92,97
к-590	14,40	5,95	0,42	4,16	16,93	100,51
к-605	20,30	7,99	0,55	5,59	16,83	134,38
к-749	16,00	6,51	0,46	4,56	16,98	110,53
к-751	12,85	5,33	0,29	3,73	16,56	88,07
к-764	9,90	4,04	0,24	2,83	16,74	67,58
к-795	13,00	5,52	0,38	3,86	16,93	93,38
к-993	19,25	7,93	0,48	5,55	16,72	132,48
к-1027	21,80	8,76	0,64	6,14	16,91	148,13
к-1033	14,70	6,13	0,38	4,29	16,52	101,23
к-1070	17,05	7,31	0,48	5,12	16,73	122,25
к-1356	11,90	4,71	0,38	3,30	16,42	77,31
к-1628	19,30	7,35	0,45	5,15	16,80	123,46
к-1726	19,95	8,27	0,50	5,79	16,66	137,71
к-1743	12,85	5,56	0,40	3,89	16,70	92,87
к-1745	16,90	6,91	0,54	4,83	16,61	114,64
к-1748	15,45	6,76	0,53	4,73	16,79	113,41
к-1775	18,70	7,86	0,69	5,51	16,81	132,10
к-1812	14,85	5,35	0,39	3,74	16,73	89,40
к-1818	16,60	6,65	0,46	4,66	16,66	110,70
к-1830	14,75	5,93	0,41	4,15	16,69	98,90
к-1833	15,50	5,74	0,41	4,02	16,59	95,15
к-1850	16,85	6,58	0,46	4,60	16,34	107,33
к-1851	14,90	5,96	0,40	4,17	16,82	100,10
к-1854	10,90	4,38	0,30	3,07	16,85	73,67
к-1877	15,00	6,39	0,39	4,47	16,85	107,61
НСР _{0,5}			0,18	0,07	0,008	0,05

Выводы. Выявленная изменчивость морфологических и биологических признаков образцов могоара позволит вести целенаправленную работу по созданию новых сортов. Применительно к условиям Нижнего Поволжья наиболее перспективные для селекционной работы следующие сортообразцы могоара, обладающие высокой урожайностью надземной

биомассы (>20,00 т/га): к-605, к-1027, Атлант; наиболее высокорослые (>100,0 см) – к-37, к-80, к-398, к-764, к-795, к-1033, к-1070, к-1356, к-1743, к-1748, к-1775, к-1818, к-1850, к-1854, Стоик; на высокое содержание сырого протеина >7,50 % – к-1356, к-1745, к-1748, к-1775; на содержание сырого жира более >3,00% – к-63, к-80, к-336, к-1854, к-1877.

Библиографические ссылки

1. Вертикова Е. А. Селекция зернокармливых культур в условиях Поволжья // В мире научных открытий. 2016. № 9 (81). С. 74–93.
2. Вертикова Е. А. Изучение исходного материала для селекции зернокармливых культур // Аграрный научный журнал. 2018. № 3 (81). С. 3–8. DOI: 10.28983/asj.v0i3.
3. Донец И. А., Жукова М. П., Володин А. Б., Голубь А. А., Чухлебкова Н. С. Агробиологическая оценка районированных сортов просовидных культур (чумиза, могар, пайза) в условиях Центрального Предкавказья // Вестник АПК Ставрополя. 2019. № 3 (35). С. 46–50. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-35-46-50.
4. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.
5. Капустин С. И., Володин А. Б., Кравцов В. В., Капустин А. С. Могар – ценная кормовая культура // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4. С. 42–49. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.04.
6. Копылов В. Л., Шестаков Н. М. Сравнительная продуктивность просовидных кормовых культур и эффективность возделывания пайзы в зависимости от количества укосов в условиях Республики Беларусь // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 2(18). С. 154–159.
7. Классификатор вида *Setaria Italica* L. (чумиза, могар) / Всесоюзная академия с.-х. наук имени В. И. Ленина. Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н. И. Вавилова. Л., 1981. 19 с.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с.
9. Николайченко Н. В., Жужукин В. И. Современные подходы и новые методы селекции при интродукции малораспространенных видов кормовых культур в засушливых условиях Нижневолжского региона // Аграрный научный журнал. 2016. № 9. С. 39–42.
10. Технологический потенциал зерна чумизы: расширение ресурсного потенциала и ассортимента продуктов повышенной пищевой ценности: монография / М. К. Садыгова, Н. А. Шьюрова, О. С. Башинская, Л. И. Кузнецова, А. Н. Асташов, Т. В. Родина. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Саратов: ООО «Амирит», 2022. 206 с.
11. Avetisyan A. T., Baykalova L. P., Artemyev O. S., Martynova O. V. Productivity and feed value of sparsely distributed annual crops // IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548, Article number 020226. DOI: 10.1088/1755-1315/548/7/072047/.
12. Rodina T., Kondakov K., Astashov A. The influence of the main agro-technical methods of cultivation on the yield of seeds of chumiz (*Setaria Italica* (L.) P. Beauv) in the Lower Volga region // BIO Web of Conferences. 2022. Vol. 43, Article number 02026. DOI: 10.1051/bioconf/20224302026/.

References

1. Vertikova E. A. Seleksiya zernokormovykh kul'tur v usloviyakh Povolzh'ya [Breeding of grain fodder crops in the conditions of the Volga region] // V mi-re nauchnykh otkrytii. 2016. № 9 (81). S. 74–93.
2. Vertikova E. A. Izuchenie iskhodnogo materiala dlya seleksii zernokormovykh kul'tur [Study of the initial material for breeding of grain fodder crops] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2018. № 3 (81). S. 3–8. DOI: 10.28983/asj.v0i3.
3. Donets I. A., Zhukova M. P., Volodin A. B., Golub' A. A., Chukhlebova N. S. Agro-biologicheskaya otsenka raionirovannykh sortov prosovidnykh kul'tur (chumiza, mogar, pai-za) v usloviyakh Tsentral'nogo Predkavkaz'ya [Agrobiological estimation of regioned varieties of millet crops (chumiza, mogar, paisa) in the conditions of the Central Ciscaucasia] // Vestnik APK Stavropol'ya. 2019. № 3 (35). S. 46–50. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-35-46-50.
4. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Sovremennaya seleksiya zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii [Modern breeding of leguminous and cereal crops in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2021. T. 25, № 4. S. 381–387. DOI: 10.18699/VJ21.041.
5. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kravtsov V. V., Kapustin A. S. Mogar – tsennaya kormovaya kul'tura [Mogar is a valuable fodder crop] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2018. № 4. S. 42–49. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.04.
6. Kopylovich V. L., Shestak N. M. Sravnitel'naya produktivnost' prosovidnykh kormovykh kul'tur i effektivnost' vozdeleyvaniya paizy v zavisimosti ot kolichestva ukosov v usloviyakh Respubliki Belarus' [Comparative productivity of millet fodder crops and the efficiency of cultivation of paisa, depending on the number of cuts in the conditions of the Republic of Belarus] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2016. № 2(18). S. 154–159.
7. Klassifikator vida *Setaria Italica* L. (chumiza, mogar) [Species classifier *Setaria Italica* L. (chumiza, mogar)] / Vsesoyuznaya akademiya s.-kh. nauk imeni V. I. Lenina. Vsesoyuznyi NII rastenievodstva imeni N. I. Vavilova. L., 1981. 19 s.
8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops. Cereals, cereals, legumes, maize, and fodder crops] / Gosagroprom SSSR. Gosudarstvennaya komissiya po sortoispytaniyu sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. M., 1989. 194 s.
9. Nikolaichenko N. V., Zhuzhukin V. I. Sovremennye podkhody i novye metody seleksii pri introduktsii malorasprostranennykh vidov kormovykh kul'tur v zasushlivykh usloviyakh Nizhne-Volzhskogo regiona [Modern approaches and new breeding methods for the introduction of rare species of fodder crops in arid conditions of the Lower Volga region] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2016. № 9. S. 39–42.
10. Tekhnologicheskii potentsial zerna chumizy: rasshirenie resursnogo potentsiala i assortimenta produktov povyshennoi pishchevoi tsennosti: monografiya [Technological potential of chumiza grain: expansion of resource potential and assortment of high-nutritional-value products: monograph] / M. K. Sadygova, N. A. Shiyrova, O. S. Bashinskaya, L. I. Kuznetsova, A. N. Astashov, T. V. Rodina. Saratov: OOO «Amiryt», 2022. 206 s.

expanding the resource potential and the range of products of increased nutritional value] / M. K. Sadygova, N. A. Sh'yurova, O. S. Bashinskaya, L. I. Kuznetsova, A. N. Astashov, T. V. Rodina. FGBOU VO «Saratovskii GAU», FGBNU RosNIISK «Rossorgo». Saratov: ООО «Amirit», 2022. 206 s.

11. Avetisyan A. T., Baykalova L. P., Artemyev O. S., Martynova O. V. Productivity and feed value of sparsely distributed annual crops // IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548, Article number 020226. DOI: 10.1088/1755-1315/548/7/072047/.

12. Rodina T., Kondakov K., Astashov A. The influence of the main agro-technical methods of cultivation on the yield of seeds of chumiz (*Setaria Italica* (L.) P. Beauv) in the Lower Volga region // BIO Web of Conferences. 2022. Vol. 43, Article number 02026. DOI: 10.1051/bioconf/20224302026/.

Поступила: 30.01.23; доработана после рецензирования: 09.03.23; принята к публикации: 27.03.23.

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. Родина Т. В. – концептуализация исследований, анализ данных, подготовка рукописи; Асташов А. Н. – концептуализация исследований, критический анализ текста; Башинская О. С. – финальная доработка текста; Пронудин К. А. – подготовка и выполнение полевых опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.19:631.524.85.85(470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-72-78

**АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В КОНТРАСТНЫХ УСЛОВИЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ
НА СРЕДНЕМ ДОНУ**

К. Н. Бирюков, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии и первичного семеноводства, biryukov.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-4524-571X;

А. И. Грабовец, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, grabovets_ai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1530-7721;

М. А. Фоменко, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5385-6863;

О. В. Бирюкова, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371;

И. В. Ляшков, научный сотрудник лаборатории агробиологии и первичного семеноводства, i.lyahkov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0278-9354

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,

346735, Ростовская область, пос. Рассвет, ул. Институтская, д. 1; e-mail: dzni@mail.ru

Исследования проведены в 2012–2018 гг. с целью изучения адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания в почвенно-климатических условиях севера Ростовской области. Материалом для исследования стали 10 сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ ФРАНЦ. В период с 2012 по 2014 г. были изучены 6 сортов пшеницы (первая группа), в 2015–2018 гг. – 4 сорта (вторая группа). Почва опытного участка представлена черноземом южным среднесиловым карбонатным. Схема опыта включала в себя 12 фонов минерального питания. Посевы размещали по черному пару, норма высева – 4 млн всхожих семян на 1 га по каждому агроварианту. Агроклиматические условия в годы закладки опыта были контрастными. В результате исследований было установлено, что в первой группе сортов на формирование урожайности оказал наибольшее влияние фактор «сорт» (64,4 %), во второй группе – фактор «агрофон» (71,0 %). Продуктивные возможности (по коэффициенту адаптивности) сортов Донская лира, Донна, Золушка, Боярыня и Донэра были высокими, они составили 101–108 %. В контрастных условиях минерального питания эти же сорта обладали оптимальным соотношением между потребностями генотипа и уровнем агрофона. Сорта Боярыня и Донна в своих группах сформировали максимальную урожайность. Она составила у Боярыни 6,71 т/га зерна, у Донны – 6,42 т/га. В ходе проведения работ было выявлено, что высокой приспособленностью к лимитированному количеству удобрений обладают сорта Миссия и Тарасовская 70. Оптимальное сочетание параметров экологической пластичности и стабильности было выявлено у сортов Донская лира, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра. Они имели широкий диапазон приспособительных возможностей, поэтому в условиях производства способны давать стабильный урожай зерна при различных вариациях уровня минерального питания.

Ключевые слова: сорт, озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), агрофон, урожайность, коэффициент адаптивности, пластичность, стабильность.

Для цитирования: Бирюков К. Н., Грабовец А. И., Фоменко М. А., Бирюкова О. В., Ляшков И. В. Адаптивный потенциал сортов озимой пшеницы в контрастных условиях минерального питания на Среднем Дону // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 72–78. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-72-78.

**ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER WHEAT VARIETIES
UNDER CONTRASTING CONDITIONS OF MINERAL NUTRITION
IN THE MIDDLE DON**

K. N. Biryukov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for agrobiology and primary seed production, biryukov.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-4524-571X;

A. I. Grabovets, Doctor of Agricultural Sciences, professor, correspondence member of RAS, head of the department of wheat and triticale breeding and seed production, grabovets_ai@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1530-7721;

M. A. Fomenko, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5385-6863;

O. V. Biryukova, researcher of the laboratory for triticale breeding and seed production, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371;

I. V. Lyashkov, researcher of the laboratory for agrobiology and primary seed production, i.lyahkov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0278-9354

FSBSI "Federal Rostov Agricultural Research Center",

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

The current study was carried out to research the adaptive potential of winter wheat varieties depending on the level of mineral nutrition in the soil and climatic conditions of the north of the Rostov region in 2012–2018. The objects of the study were 10 winter wheat varieties bred by FGBSI FRARC. Between 2012 and 2014 there were studied 6 wheat varieties (the first group), in 2015–2018 there were studied 4 ones (second group). The soil of the experimental plot was represented by southern medium-thick calcareous chernozem. The experimental scheme included 12 backgrounds of mineral nutrition. Crops were laid weedfree fallow, the seeding rate was 4 million germinating seeds per 1 ha for each agricultural variant. Agro-climatic conditions in the experimental years were contrasting. As a result of the study, there was found that in the first group of varieties, the factor 'variety' had the greatest influence on productivity formation (64.4 %), in the second group it was the factor 'agrobackground' (71.0 %). Productive possibilities (according to the coefficient of adaptability) of the varieties 'Donskaya Lira', 'Donna', 'Zolushka', 'Boyarynya' and 'Donera' were high, they amounted to 101–108 %. In contrasting conditions of mineral nutrition, the above listed varieties had an optimal ratio between the needs of the genotype and the level of the agricultural background. The varieties 'Boyarynya' and 'Donna' in their groups formed the maximum yield with 6.71 t/ha of for 'Boyarynya' and 6.42 t/ha for 'Donna'. In the course of the current work, there was found that the varieties 'Missiya' and 'Tarasovskaya 70' had high adaptability to a limited amount of fertilizers. The optimal combination of parameters of ecological adaptability and stability were found for the varieties 'Donskaya Lira', 'Boyarynya', 'Vestnitsa', 'Donstar', 'Donera'. They had a wide range of adaptive capabilities, therefore, under production conditions, they could produce a stable grain yield with various variations in the level of mineral nutrition.

Keywords: variety, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), agricultural background, productivity, coefficient of adaptability, stability.

Введение. Стрессовое воздействие климатических факторов оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, вызывая снижение урожайности сельскохозяйственных культур (Тетяников и др., 2021). Это указывает на необходимость селекции сортов, адекватно реагирующих на изменения условий вегетации. Считается, что особый приоритет должна получить селекция на устойчивость к контрастным погодным условиям с учетом специфической приспособленности сортов к доминирующим стрессовым факторам конкретного региона (Волкова и др., 2020). Поэтому для субрайонов с волатильными погодными условиями, какой является Ростовская область, селекция должна иметь четко выраженную адаптивную направленность (Крохмаль и др., 2020).

Главная отличительная особенность адаптированных сортов – сочетание высокой потенциальной продуктивности с устойчивостью к наиболее распространенным в регионе абиотическим и биотическим стрессорам, а также доминирование генотипа над нерегулируемыми факторами внешней среды (Кинчаров и др., 2022). Наиболее ценными являются сорта, имеющие более высокий средний уровень урожайности и наименьший размах его колебаний при изменяющихся условиях выращивания. В благоприятных условиях предпочтительны сорта с высокой потенциальной продуктивностью, а в экстремальных условиях урожайность сорта должна сочетаться с высокой экологической устойчивостью (Байкалова и др., 2021). Для выявления генотипов, адаптивных к почвенно-климатическим условиям региона, проводят оценку пластичности и стабильности показателей, характеризующих количество и качество получаемой растениеводческой продукции (Зайцева и др., 2022).

Одним из определяющих ресурсов адаптивной технологии возделывания озимой пшеницы является сбалансированное минеральное питание, создание которого возможно, прежде всего, с использованием удобрений (Гуреев и др., 2021). Современные сорта в силу своих генетических особенностей характеризуются

различной способностью поглощать из почвы питательные вещества и использовать их для своего роста и развития. Поэтому система удобрений должна разрабатываться с учетом биологических особенностей не только культуры, но и сорта (Митрофанов и др., 2020).

Цель исследований – выяснить адаптивный потенциал сортов озимой пшеницы разных лет селекции на различных фонах минерального питания для оптимизации технологии возделывания в условиях севера Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Исследования были выполнены в отделе селекции и семеноводства пшеницы и тритикале Федерального Ростовского аграрного научного центра в 2012–2018 гг. в северо-западной зоне Ростовской области. Материалом для исследования служили 10 сортов озимой пшеницы собственной селекции. В 2012–2014 гг. в опыте изучили сорта, включенные на тот период в Госреестр. Это были Донская лира, Донна, Золушка, Магия, Миссия, Тарасовская 70. В 2015–2018 гг. изучили сорта Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра (включены в Госреестр позже первой группы сортов). Почва опытного участка – среднесплодный южный карбонатный чернозем. Мощность гумусового горизонта – 60–70 см. Количество гумуса в пахотном слое составило 3,2 % (ГОСТ 2613-91), гидролизующего азота (по Тюрину и Кононовой) – 67 мг/кг. Содержание общего азота ($N-NO_3 + N-NH_4$) (по Гинзбургу) в пахотном слое почвы было на уровне 28 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) (ГОСТ 26204-91) – 31 и 300 мг/кг соответственно. Сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27281-88) – 68 мг-экв./100 г.

Предшественник – черный пар. Технология подготовки черного пара общепринятая для зоны. Посев проводили в оптимальные для данной зоны сроки (10–15 сентября). Норма высева – 4 млн всхожих семян на 1 га на каждом агрофоне. Глубина заделки семян – 4–5 см. Перед посевом семена не протравливали. Площадь делянки 50 м², повторность – трехкратная. В фазе кущения культуры

проводили гербицидную обработку против сорняков, в фазе колошения – инсектицидную обработку по вредителям. Учет урожайности озимой пшеницы вели методом поделяночного обмолота комбайном Сампо 500 с последующим приведением данных по урожайности к стандартной влажности. Оценка показателей качества зерна в зависимости от уровня агрофона не проводили.

Схема внесения минеральных удобрений включала в себя следующие варианты (агрофона):

1. Без удобрений (контроль) – 0 кг/га д.в.
2. N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) – 50 кг/га д.в.
3. N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_7P_{18} (50 кг/га ЖКУ) – 75 кг/га д.в.
4. N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_{30} (65 кг/га карбамида) – 80 кг/га д.в.
5. $N_{12}P_{52}$ в основном внесении (100 кг/га аммофоса) – 64 кг/га д.в.
6. $N_{12}P_{52}$ (100 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) – 114 кг/га д.в.
7. $N_{12}P_{52}$ (100 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_7P_{18} (50 кг/га ЖКУ) – 139 кг/га д.в.
8. $N_{12}P_{52}$ (100 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_{30} (65 кг/га карбамида) – 144 кг/га д.в.
9. $N_{24}P_{104}$ в основном внесении (200 кг/га аммофоса) – 128 кг/га д.в.
10. $N_{24}P_{104}$ (200 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) – 178 кг/га д.в.
11. $N_{24}P_{104}$ (200 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_7P_{18} (50 кг/га ЖКУ) – 203 кг/га д.в.
12. $N_{24}P_{104}$ (200 кг/га аммофоса) + N_{50} (150 кг/га аммиачной селитры) + N_{30} (65 кг/га карбамида) – 208 кг/га д.в.

Основное удобрение (аммофос, $N_{12}P_{52}$) заделывали в почву осенью под основную (вспашка на глубину 20–22 см) обработку пара. Ранневесеннюю подкормку провели прикорневом способом, как только наступила физическая спелость почвы в фазе кущения пшеницы. Вносили аммиачную селитру (N_{34}) согласно схеме опыта. При некорневой подкормке по вегетирующим растениям использовали ЖКУ ($N_{13}P_{37}$) в фазе выхода в трубку. В фазе перед колошением вносили карбамид (N_{46}) на агровариантах, предусмотренных схемой опыта.

Для оценки адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы в условиях Среднего Дона определяли экологическую характеристику каждого генотипа (Доспехов, 2014).

Учитываемый признак – урожайность зерна (Y). Среднесортная урожайность по опыту – средняя урожайность всех исследуемых сортов за все годы изучения по всем агрофонам. Агрофон с максимальным проявлением изучаемого признака принят за оптимальный, с минимальным проявлением – за лимитированный. Для определения реакции сортов озимой пшеницы на условия минерального питания был рассчитан индекс условий агрофона (Lj) и коэффициент адаптивности (CA) (Зыкин и др., 2011). Индекс условий агрофона представляет собой отношение среднего урожая по сортам на каждом агрофоне к среднесортной урожайности по опыту. Разность между лимитированным и оптимальным агрофоном отражает уровень устойчивости сорта к дефициту питательных элементов (SU), а уравнение $(Y_{opt} + Y_{lim})/2$ показывает наличие у сорта компенсаторной способности (CS). Параметры стабильности и экологической пластичности оценивали по методу, основанному на расчете коэффициента линейной регрессии (bi) и варианты стабильности (S^2di).

Условия вегетации озимой пшеницы различались по годам. Посев проводили как при оптимальном количестве влаги в почве, так и при ее минимальном содержании в посевном слое. Весенне-летнее развитие растений также проходило в различных условиях по влагообеспеченности и температурному режиму. Фаза формирования зерновки и налива зерна в 2012, 2013, 2015, 2018 гг. характеризовалась очень жестким лимитом по увлажнению, также наблюдали высокие температуры воздуха. Значение ГТК в этот период варьировало от 0,55 до 0,87. В 2014, 2016, 2017 гг. погодные условия в эту фазу развития пшеницы были в целом благоприятными (ГТК был от 1,00 до 1,23).

Результаты и их обсуждение. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа позволили установить достоверность влияния на урожайность у первой группы сортов озимой пшеницы фонов минерального питания и их взаимодействие при уровне значимости 95 %. Максимальный вклад в формирование урожая пшеницы данной группы оказал фактор «сорт», определяющий адаптацию к факторам внешней среды. Действие этого фактора составило 64,4 %. Вклад в формирование урожайности фактора «агрофон» был на уровне 31,2 %. Взаимодействие двух этих факторов было незначительным (4,4 %). Среднесортная урожайность данной группы составила 5,94 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность первой группы сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня агрофона (2012–2014 гг.), т/га
Table 1. Productivity of the first group of winter wheat varieties depending on the level of the agricultural background (2012–2014), t/ha

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)					
		Донская пира	Донна	Золушка	Миссия	Магия	Тарасовская 70
1. Без удобрений	–0,56	5,74	5,69	5,55	5,10	5,06	5,14
2. N_{50}	–0,29	5,95	6,08	5,83	5,40	5,33	5,31

Окончание табл. 1

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)					
		Донская лира	Донна	Золушка	Миссия	Магия	Тарасовская 70
3. N ₅₇ P ₁₈	0,13	6,27	6,54	6,45	5,84	5,63	5,69
4. N ₈₀	0,19	6,51	6,49	6,41	5,79	5,90	5,70
5. N ₁₂ P ₅₂	-0,28	5,91	6,13	5,92	5,26	5,11	5,69
6. N ₆₂ P ₅₂	-0,04	6,28	6,43	6,29	5,48	5,45	5,53
7. N ₆₉ P ₇₀	0,19	6,53	6,67	6,57	5,66	5,72	5,65
8. N ₉₂ P ₅₂	0,19	6,53	6,63	6,56	5,71	5,76	5,60
9. N ₂₄ P ₁₀₄	-0,17	6,03	6,12	6,07	5,50	5,41	5,52
10. N ₇₄ P ₁₀₄	0,08	6,38	6,56	6,26	5,68	5,57	5,70
11. N ₈₁ P ₁₂₂	0,18	6,44	6,69	6,47	5,74	5,76	5,64
12. N ₁₀₄ P ₁₀₄	0,39	6,68	7,04	6,72	5,84	5,87	5,87
Среднесортная урожайность = 5,94 т/га							
HCP ₀₅ – фактор А = 0,13, В = 0,09; доля влияния, % – фактора А = 31,2, В = 64,4, взаимодействие А х В = 4,4							

Сорт как генетическая система специфически реагирует на уровень агрофона. Наиболее благоприятная ситуация для полной реализации потенциальных возможностей генотипов пшеницы сложилась на варианте 12 (суммарно 208 кг д.в. на 1 га). На этом варианте индекс условий агрофона был равен 0,39. Для ряда агрофонов был характерен отрицательный индекс, где фактором, лимитирующим урожайность озимой пшеницы, послужило недостаточное количество азота и фосфора. Это отчетливо проявилось на фоне без удобрений, где был высокий отрицательный индекс агрофона, и была получена минимальная урожайность по каждому сорту.

Ежегодную положительную динамику роста урожайности данных сортов пшеницы наблюдали при ранневесеннем внесении азота. При использовании N₅₀ на агрофоне 2 по всем сортам были получены достоверные прибавки. Они составили 0,17–0,39 т/га по отношению к контролю. Тот же эффект был получен на агрофонах 6 (N₆₂P₅₂) и 10 (N₇₄P₁₀₄). На агрофоне 6 средняя величина прибавок составила 0,53 т/га. Максимальной прибавка была у сортов Донна и Золушка (по 0,74 т/га). На агрофоне 10 среднесортная урожайность составила 5,57–6,56 т/га. Сорт-лидер на этом

агрофоне был Донна. Некорневая подкормка вегетирующих растений пшеницы ЖКУ способствовала формированию продуктивности изученных сортов на уровне 5,63–6,54 т/га (агрофон 3, N₅₇P₁₈), 5,65–6,67 т/га (агрофон 7, N₆₉P₇₀) и 5,64...6,69 т/га (агрофон 11, N₈₁P₁₂₂). Улучшение азотного питания растений пшеницы путем внесения N₃₀ в период начала колошения позволило получить прибавку урожайности зерна на агрофонах 4 (N₃₀) и 8 (N₉₂P₅₂) на уровне 0,75 т/га. Максимальными прибавки урожайности от некорневого применения азота были на агрофоне 12 (N₁₀₄P₁₀₄). Их уровень составил 0,73–1,35 т/га по сравнению с контролем. Данный агрофон был наиболее продуктивным. Среднесортная урожайность здесь составила 6,33 т/га. Максимальная урожайность была зафиксирована у сортов Донна, Золушка и Донская лира (7,04; 6,72 и 6,68 т/га соответственно).

Среднесортная урожайность второй группы сортов озимой пшеницы составила 6,48 т/га. При этом вклад в формирование урожайности фактора «агрофон» превалировал и составил 71,0 %. Действие фактора «сорт» было на уровне 26,7 %. Взаимодействие двух этих факторов было минимальным (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность второй группы сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня агрофона (2015–2018 гг.), т/га
Table 2. Productivity of the second group of winter wheat varieties depending on the level of agricultural background (2015–2018), t/ha

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)			
		Боярыня	Вестница	Донстар	Донэра
1. Без удобрений	-0,55	6,17	5,91	5,67	5,99
2. N ₅₀	-0,16	6,56	6,26	6,06	6,43
3. N ₅₇ P ₁₈	0,25	6,91	6,68	6,49	6,83
4. N ₈₀	0,21	6,84	6,67	6,40	6,86
5. N ₁₂ P ₅₂	-0,38	6,33	6,14	5,87	6,07
6. N ₆₂ P ₅₂	-0,09	6,67	6,37	6,13	6,41
7. N ₆₉ P ₇₀	0,13	6,81	6,62	6,36	6,68
8. N ₉₂ P ₅₂	0,20	6,90	6,74	6,35	6,75
9. N ₂₄ P ₁₀₄	-0,29	6,37	6,20	5,97	6,25

Окончание табл. 2

Агрофон (фактор А)	Индекс агрофона (Lj)	Сорт (фактор В)			
		Боярыня	Вестница	Донстар	Донэра
10. $N_{74}P_{104}$	0,04	6,82	6,43	6,35	6,50
11. $N_{81}P_{122}$	0,34	7,07	6,68	6,65	6,89
12. $N_{104}P_{104}$	0,30	7,07	6,66	6,57	6,85
Среднесортная урожайность = 6,48 т/га					
НСР ₀₅ – фактор А = 0,09, В = 0,05; доля влияния, % – фактора А = 71,0, В = 26,7, взаимодействие А х В = 2,4					

Для всех сортов данной группы агрофоны 11 ($N_{81}P_{122}$) и 12 ($N_{104}P_{104}$) были наиболее оптимальными для реализации максимальной урожайности. Продуктивность сортов на этих агровариантах была выше, чем среднесортная. Она составила на агрофоне 11 в среднем по сортам 6,82 т/га, на агрофоне 12 – 6,79 т/га. Собственно, это отражается в показателях индекса условий агрофона, которые составили 0,34 и 0,30 соответственно. Для сортов Боярыня, Вестница и Донэра агрофоны 3 ($N_{57}P_{18}$), 4 (N_{80}), 7 ($N_{69}P_{70}$), 8 ($N_{92}P_{52}$) также являлись эффективными для формирования потенциальной продуктивности.

На варианте без удобрений продуктивность сортов второй группы была на уровне 5,67–6,17 т/га. Высокий урожай зерна на контроле объясняется содержанием выше среднего в почве доступных фосфатов и накопленным во время парования почвы доступным азотом. Привнесении $N_{12}P_{52}$ (агрофон 5) урожайность изучаемых сортов составила 5,87–6,33 т/га. После внесения $N_{12}P_{104}$ (агрофон 9) уровень доступного фосфора увеличился на 6,6 мг/кг. Прибавки зерна в этом случае составили 0,20–0,30 т/га по сравнению с контролем. Выявленные тенденции по подкормкам для первой группы сортов были характерны и для сортов второй группы. При ранневесеннем внесении азота (50 кг/га д.в.) на агрофонах 2 (N_{50}), 6 ($N_{62}P_{52}$) и 10 ($N_{74}P_{104}$)

по всем сортам были получены достоверные прибавки. Они составили 0,35–0,68 т/га по отношению к контролю. Положительный эффект был получен на агрофонах 3 ($N_{57}P_{18}$), 7 ($N_{69}P_{70}$) и 11 ($N_{81}P_{122}$) при некорневой подкормке сортов жидким комплексным удобрением. Улучшение фосфорного питания озимой пшеницы за счет внесения раствора ЖКУ на лист способствовало формированию среднесортной урожайности на агрофоне 3 на уровне 6,73 т/га, на агрофоне 7 – 6,62 т/га, на агрофоне 11 – 6,82 т/га. На агрофоне 11 максимальная урожайность в опыте была зафиксирована у сортов Боярыня, Донстар и Донэра (7,07; 6,65 и 6,89 т/га соответственно). Некорневая подкормка карбамидом способствовала в любой год исследований формированию продуктивности изученных сортов на уровне 6,40–6,86 т/га (агрофон 4, N_{80}), 6,35–6,90 т/га (агрофон 8, $N_{92}P_{52}$) и 6,57–7,07 т/га (агрофон 12, $N_{104}P_{104}$).

По коэффициенту адаптивности можно судить о продуктивных возможностях изучаемых сортов (табл. 3). В первой группе сорта Донская лира, Донна, Золушка способны реализовать свой потенциал продуктивности при данном уровне минерального питания. Коэффициент адаптивности этих сортов варьировал в опыте от 105 до 108 %. Во второй группе такими сортами были Боярыня и Донэра с показателем адаптивности 103 и 101 % соответственно.

Таблица 3. Оценка адаптивности сортов озимой пшеницы
Table 3. Estimation of adaptability of the winter wheat varieties

Сорт	Варьирование урожайности (Y), т/га			Признаки адаптивности*				
	Уопт.	Улим.	Уср. (по опыту)	СА, %	CS	SU	bi	S ² di
2012–2014 гг.								
Донская лира	5,74	6,68	6,27	105	6,21	–0,94	1,07	0,004
Донна	5,69	7,04	6,42	108	6,37	–1,35	1,29	0,006
Золушка	5,55	6,72	6,26	105	6,14	–1,16	1,25	0,004
Миссия	5,10	5,84	5,58	94	5,47	–0,73	0,82	0,006
Магия	5,06	5,90	5,55	93	5,48	–0,84	0,97	0,008
Тарасовская 70	5,14	5,87	5,59	94	5,50	–0,73	0,60	0,012
2015–2018 гг.								
Боярыня	6,17	7,07	6,71	103	6,62	–0,90	0,99	0,002
Вестница	5,91	6,74	6,45	99	6,32	–0,83	0,91	0,003
Донстар	5,67	6,65	6,24	96	6,16	–0,98	1,01	0,002
Донэра	5,99	6,89	6,54	101	6,44	–0,90	1,08	0,003

Примечание. *СА – коэффициент адаптивности, CS – компенсаторная способность, SU – устойчивость к дефициту питательных элементов, bi – экологическая пластичность, S²di – фенотипическая стабильность.

Высокая относительная устойчивость к лимитированному количеству удобрений уста-

новлена у сортов Миссия и Тарасовская 70 (–0,73). У них диапазон приспособительных

возможностей к ограниченному количеству азота и фосфора шире, нежели у остальных изученных генотипов. Уровень устойчивости сортов Вестница, Магия, Боярыня, Донэра, Донская лира и Донстар находился в пределах от $-0,83$ до $-0,98$. То есть устойчивость этих сортов можно определить как среднюю. Минимальной устойчивостью к дефициту питательных элементов характеризовались сорта Донна ($-1,35$) и Золушка ($-1,16$).

Расчет компенсаторной способности позволил установить среднюю урожайность сортов пшеницы в контрастных условиях минерального питания. Максимальное соответствие данной схеме агровариантов установлено в первой группе у сортов Донна, Донская лира и Золушка ($6,37$; $6,21$ и $6,14$ соответственно), во второй группе у сортов Боярыня и Донэра ($6,62$ и $6,44$ соответственно). Данные сорта обладают оптимальным соотношением между потребностями генотипа и уровнем агрофона. То есть формирование их урожайности происходит с большей адекватностью к меняющемуся уровню минерального питания, чем у других сортов.

Важным элементом при учете адаптивных свойств сортов является оценка их экологической пластичности и стабильности. Выявлено, что для каждого сорта пшеницы характерна определенная реакция на улучшение уровня агрофона. К экологически пластичным сортам с коэффициентом регрессии, равным или близким к единице, из первой группы можно отнести сорта Донская лира и Магия. Во второй группе все сорта являются пластичными. Изменение их урожайности практически полностью соответствует изменению уровня минерального питания. Сорта Миссия и Тарасовская 70 обладали низкой экологической пластичностью ($b_i < 1$), рост их урожайности не соответствовал темпам улучшения агрофона. Оптимальным решением использования данных сортов является посев их по низким и средним агрофонам. Сорта Донна ($b_i = 1,29$) и Золушка ($b_i = 1,25$) проявили высокую отзывчивость на улучшение уровня минерального питания. Для реализации их потенциальной продуктивности лучше всего подойдут варианты агротехники с высоким уровнем агрофона.

Наиболее стабильными по способности формировать продуктивность в различных условиях минерального питания в первой группе были сорта Донская лира и Золушка ($S^2di = 0,004$). Во второй группе все сорта были стабильными по этому параметру ($S^2di = 0,002-0,003$). По оптимальному сочетанию параметров экологической пластичности и стабильности выделились сорта Донская лира, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра. В производственных условиях они представляют определенную ценность, поскольку имеют широкий диапазон приспособительных возможностей и способны давать стабильный урожай зерна при различных вариантах минерального питания.

Выводы. В результате проведенных исследований было выявлено, что для полной реализации потенциальной продуктивности сортов Донская лира, Донна, Золушка в условиях севера Ростовской области необходимы высокие агрофоны (>200 кг д.в. на 1 га). Сорта Боярыня, Вестница, Донэра, Магия, Донстар были более вариabельными по отношению к насыщенности агрофона. Для них подходят варианты от 80 до 208 кг д.в. на 1 га. У сортов Миссия и Тарасовская 70 определили высокую приспособленность к лимитированному количеству удобрений.

Анализ адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы позволил определить степень их реакции на улучшение минерального питания. К пластичным сортам ($b_i \sim 1$) были отнесены Донская лира, Магия, Вестница, Боярыня, Донэра, Донстар. Динамика их урожайности полностью соответствует колебаниям уровня минерального питания. Полуинтенсивные сорта Миссия и Тарасовская 70 обладали низкой экологической пластичностью. Сорта Донна и Золушка, являясь высокоинтенсивными, проявили высокую отзывчивость на рост уровня минерального питания. Высокой вариансой стабильности ($S^2di = 0,002-0,004$) характеризовался целый ряд сортов пшеницы (Донская лира, Золушка, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра). Оптимальное сочетание параметров экологической пластичности и стабильности было отмечено у сортов Донская лира, Боярыня, Вестница, Донстар, Донэра.

Библиографические ссылки

1. Байкалова Л. П., Серебренников Ю. И. Оценка адаптивного потенциала сортов твердой яровой пшеницы по урожайности // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 46–55. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-46-55.
2. Волкова Л. В., Щенникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.
3. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б. Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя // Юг России. Экология и развитие. 2021. Т. 16, № 3. С. 95–101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 352 с.
5. Зайцева И. Ю., Щенникова И. Н., Панихина Л. В., Дягилева Е. В. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 4. С. 30–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38.

6. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Исламгулов Д. Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений: 2-е изд., перераб. и доп. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. 100 с.

7. Кинчаров А. И., Демина Е. А., Кинчарова М. Н., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекумасова К. Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 4. С. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.

8. 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.

9. Митрофанов Ю. И., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Первушина Н. К., Смирнова Н. А. Озимая тритикале на осушаемых землях // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 42–46. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/42-46.

10. Тетяников Н. В., Боме Н. А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зуралья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 3. С. 63–73. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73.

References

1. Baikalova L. P., Serebrennikov Yu. I. Otsenka adaptivnogo potentsiala sortov tverdoi yarovoi pshenitsy po urozhainosti [Estimation of the adaptive potential of spring durum wheat varieties according to productivity] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 2. S. 46–55. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-46-55.

2. Volkova L. V., Shchennikova I. N. Sravnitel'naya otsenka metodov rascheta adaptivnykh reaktivnykh kul'tur [Comparative estimation of methods for calculating adaptive responses of grain crops] // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2020. № 3. S. 140–146. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-140-146.

3. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B. Ekonomiko-ekologicheskaya effektivnost' adaptivnoi sistemy udobreniya yarovogo yachmenya [Economic and environmental efficiency of the adaptive system of spring barley fertilization] // Yug Rossii. Ekologiya i razvitie. 2021. Т. 16, № 3. S. 95–101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101.

4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 6-e izd., pererab. i dop. Stereotip izd. M.: Al'yans, 2014. 352 s.

5. Zaitseva I. Yu., Shchennikova I. N., Panikhina L. V., Dyagileva E. V. Adaptivnost' vysokobelkovykh genotipov yachmenya v usloviyakh Volgo-Vyatskogo regiona [Adaptability of high-protein barley genotypes in the conditions of the Volga-Vyatka region] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. Т. 183, № 4. S. 30–38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38.

6. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S., Islamgulov D. R. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaystvennykh rasteniy [Methodology for calculating and estimating the parameters of ecological adaptability of agricultural plants]: 2-e izd., pererab. i dop. Ufa: Bashkirskii GAU, 2011. 100 s.

7. Kincharov A. I., Demina E. A., Kincharova M. N., Taranova T. Yu., Mullayanova O. S., Chekmasova K. Yu. Metodika otsenki agroekologicheskoi adaptirovannosti genotipov v usloviyakh global'nogo potepeniya klimata [Methodology for estimating the agroecological adaptability of genotypes in the context of global warming] // Trudy poprikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. Т. 183, № 4. S. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.

8. 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 forage triticale for productivity and adaptability] // Dostizhe-niya nauki i tekhniki APK. 2020. Т. 34, № 6. S. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610.

9. Mitrofanov Yu. I., Petrova L. I., Pugacheva L. V., Pervushina N. K., Smirnova N. A. Ozimaya tritikale na osushaemykh zemlyakh [Winter triticale on drained lands] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokho-zyaystvennoi nauki. 2020. № 1. S. 42–46. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/42-46.

10. Tetyannikov N. V., Bome N. A. Analiz vzaimodeistviya «genotip × sreda» i otsenka adaptivnogo potentsiala yachmenya v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Analysis of the “genotype × environment” correlation and estimation of the adaptive potential of barley in the conditions of the Northern Trans-Urals] // Trudy po prikladnoi bo-tanike, genetike i selektsii. 2021. Т. 182, № 3. S. 63–73. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-63-73.

Поступила: 20.02.23; доработана после рецензирования: 30.03.23; принята к публикации: 30.03.23.

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. Бирюков К. Н. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Грабовец А. И. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Фоменко М. А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Бирюкова О. В. – выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Ляшков И. В. – выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СРОКИ СЕВА ОЗИМЫХ КУЛЬТУР В ДОНБАССЕ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Н. И. Конопля¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия и экологии окружающей среды, info-nik@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-2942-6913;

О. Н. Курдюкова², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры естествознания и географии, herbology8@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7500-8275

¹Луганский государственный аграрный университет,
291008, г. Луганск, городок ЛГАУ, корпус 3;

²Ленинградский государственный университет имени А.С. Пушкина,
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 10

Целью исследований было уточнить оптимальные сроки сева пшеницы и ячменя озимых после непаровых предшественников (ячмень яровой и подсолнечник) в связи с изменением погодно-климатических условий. Опыты проводили в течение 2018–2022 гг. на черноземах обыкновенных. Закладку опытов, учеты и наблюдения осуществляли по общепринятым методикам. Установлено, что при ранних сроках сева (10.09) растения пшеницы и ячменя формировали до 5,4 побегов кущения, от 2,4 до 6,2 узловых корней, высота растений достигала 22,1–27,9 см при массе растений 174–223 г/м², что свидетельствовало о перерастании растений. При позднем сроке сева (20.10) у растений пшеницы коэффициент кущения не превышал 1,0–1,5, число узловых корней – 1,1–2,4 шт., а масса едва достигала 32–58 г/м². Растения ячменя при поздних сроках сева имели существенные преимущества в развитии по сравнению с пшеницей. На время прекращения осенней вегетации они имели в среднем 1,5–2,0 побега и 2,5–3,1 узловых корней, а надземная масса была в 2,0 раза большей, чем у пшеницы. Весной интенсивней росли и развивались растения ячменя озимого. Урожайность пшеницы при ранних посевах (10.09 и 20.09) выше, чем ячменя на 7,5–27,0 %. При севе в более поздние сроки, напротив, выше на 7,0–14,8 % была урожайность ячменя озимого. Оптимальными сроками сева пшеницы озимой, при которых формируется максимальная урожайность зерна (4,17–4,32 т/га), является период с 20 сентября по 1 октября, а ячменя озимого (4,37–4,48 т/га) – с 1 по 10 октября.

Ключевые слова: пшеница, ячмень, урожайность, предшественники, сроки сева.

Для цитирования: Конопля Н. И., Курдюкова О. Н. Сроки сева озимых культур в Донбассе в связи с изменением погодно-климатических условий // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 79–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-79-83.



SOWING TIME OF WINTER CROPS IN THE DONBASS DUE TO WEATHER AND CLIMATE CHANGES

N. I. Konoplya¹, Doctor of Agricultural Sciences, professor at the Departments of Agriculture and Ecology of the Environmental, info-nik@rambler.ru; ORCID ID: 0000-0003-2942-6913;

O. N. Kurdyukova², Doctor of Agricultural Sciences, associate professor at the Departments of Natural Sciences and Geography, herbology8@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-7500-8275

¹Lugansk State Agrarian University,
291008, Lugansk, campus LGAU, housing 3

²Leningrad State University named after A. S. Pushkin,
Saint-Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Sh., 10

The purpose of the current study was to clarify the optimal sowing time of wheat and winter barley after non-fallow forecrops (spring barley and sunflower) due to weather and climate changes. The trials were carried out during 2018–2022 on ordinary blackearth. The experiments, records and observations were carried out according to generally accepted methods. There has been established that at early sowing date (September 10), wheat and barley formed up to 5.4 tillering sprouts, from 2.4 to 6.2 nodal roots, plant height reached 22.1–27.9 cm with a plant weight of 174–223 g/m², which indicated the overgrowth of plants. At a late sowing date (October 20), the tillering coefficient of wheat plants did not exceed 1.0–1.5, the number of nodal roots was 1.1–2.4, and the weight reached 32–58 g/m². Barley plants at late sowing periods had significant developmental advantages compared to wheat. At the time of the termination of the autumn vegetation, they had an average of 1.5–2.0 sprouts and 2.5–3.1 nodal roots, and the above-ground mass was 2.0 times larger than that of wheat. In spring, winter barley plants grew and developed more intensively. Wheat productivity during early sowing date (10.09 and 20.09) was larger than that of barley by 7.5–27.0%. When sowing later, on the contrary, winter barley productivity was more on 7.0–14.8%. The optimal sowing time for winter wheat at which the maximum grain yield (4.17–4.32 t/ha) can be formed is the period from September 20 to October 1, and from 1 to 10 October for winter barley (4.37–4.48 t/ha).

Keywords: wheat, barley, productivity, forecrops, sowing time.

Введение. Степная территория Донбасса является благоприятной для устойчивого производства озимых зерновых культур, главным образом пшеницы и ячменя, которые занима-

ют здесь 735–740 тыс. га, или 58–60 % от общей площади зерновых культур.

В технологии их возделывания важнейшим приемом повышения урожайности зерна

без дополнительных материальных затрат является срок сева. Он определяет условия перезимовки, роста, развития и формирования урожайности, качество продукции, фитосанитарное состояние посевов и т. д. (Ren et al., 2019).

Ранее, 40–50 лет назад, оптимальные сроки сева пшеницы озимой приходились на 15–20 августа, позже, 20–30 лет назад, – на конец августа – начало сентября (Ткаченко и др., 2013).

Но с 70-х годов прошлого века, в связи с глобальным изменением климата, среднегодовая температура воздуха стала увеличиваться и превысила средние многолетние показатели на 1,57 °С, а в осенне-зимне-весенний период – на 2,5 °С, также увеличилось на 72,4 мм за год и количество осадков. Осень стала продолжительной и теплой, нередко засушливой, зима поздняя, относительно теплая, с частыми оттепелями, весна короткая, с быстрым нарастанием температур, значительно сократилась продолжительность периода со снежным покровом (Барановский, Курдюкова, 2021). Не менее опасными для сельского хозяйства стали такие экстремальные явления, как летние засухи, суховеи, сильные морозы, пыльные бури и т. д. (Волков и др., 2021).

В целом погодные условия стали жестче, а они, как известно, определяют изменения урожайности сельскохозяйственных культур на 40–50 % и более (Чуян, Дериглазова, 2018; Левакова и др., 2022).

Это привело к тому, что установленные ранее традиционно оптимальные сроки сева озимых культур как важнейший элемент агротехники, во многом определяющий продуктивность растений, изменились. Учеными и практиками отмечалось смещение сроков сева озимых культур на более поздние по всему югу России, в том числе и в Донбассе. По разным данным смещение на более поздние сроки составляло от 5–10 до 25–30 суток и более от ранее установленных оптимальных (Ткаченко и др., 2013; Попов, 2019; Алабушев и др., 2020).

К тому же изменения погодно-климатических условий в сторону потепления позволяют увеличить валовое производство зерна не только пшеницы, но и ячменя озимого, ранее вымерзавшего и не выращиваемого в Донбассе, который по урожайности зерна превосходит ячмень яровой в 1,5–2,0 раза. А использование современных сортов с высокой морозо- и зимостойкостью в сочетании со сменой погодных и климатических условий позволяет ослабить действие негативных факторов (Засыпкина и др., 2022).

Вместе с этим, реформирование аграрного комплекса в последние десятилетия привело к частым нарушениям в технологии возделывания озимых культур и севу их по нетрадиционным предшественникам (стерне, подсолнечнику, кукурузе, сорго) с нарушением сроков сева. Поэтому целью наших исследований было уточнить оптимальные сроки сева пшеницы

и ячменя озимых после непаровых предшественников в связи с изменением погодно-климатических условий.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты проводили в течение 2018–2022 гг. в Донецко-Донском регионе на землях КФХ «Житница», расположенных на стыке Приазовской слабо засушливой сельскохозяйственной зоны Ростовской области и Крынско-Нагольчанского сельскохозяйственного района Луганской Народной Республики.

Для посева использовали сорт пшеницы Ермак (оригинатор ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград), ячменя – Достойный (оригинатор ФГБНУ «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр», г. Буденновск и Селекционно-генетический институт – Национальный центр семеноведения и сортоизучения, г. Одесса).

Почвы опытных участков были представлены черноземами обыкновенными, среднесуглинистыми на лессовых породах. Мощность гумусового слоя почвы – 75–80 см, содержание гумуса в 0–30-сантиметровом слое – 4,1–4,4%, валового азота – 21–24 мг, подвижного фосфора – 14–16 мг, обменного калия – 18–20 мг на 100 г почвы. По гидротермическим условиям вегетационный сезон 2017–2018 гг. характеризовался как близкий к средним многолетним (ГТК – 0,96); 2018–2019 гг. – как оптимальный (ГТК – 1,00); 2019–2020 гг. – засушливый (ГТК – 0,74); 2020–2021 – остро засушливый (ГТК – 0,48); 2021–2022 гг. – как влажный (ГТК – 1,15).

Обработка почвы включала двукратное лущение дисковыми боронами и предпосевную культивацию. Удобрения вносили рекомендованной для района исследований нормой (N_{30+30} , P_{45} , K_{30}).

Сев пшеницы и ячменя озимых нормой соответственно 5,0 и 4,5 млн шт./га проводили после ячменя ярового и подсолнечника сеялкой СН-16 рядовым способом в четырехкратной повторности. Учетная площадь делянок – 53 м². Сроки сева пшеницы и ячменя согласно схеме опытов: 10.09, 20.09, 01.10, 10.10, 20.10.

Семена перед посевом протравливали фунгицидом Бенефис, 12 % м.э. (д.в. имазалил 50 г/л + металаксил 40 г/л + тебуконазол 30 г/л) – 0,7 л/т.

Для контроля сорняков использовали гербицид Гренадер, 75 % в.д.г. (д.в. трибенурон-метил) – 0,02 кг/га весной, после возобновления вегетации культур.

Уборку урожая осуществляли комбайном «Сампо-500».

Закладку, проведение полевых опытов, учеты и наблюдения в них осуществляли по общепринятым методическим рекомендациям (Ещенко и др., 2009).

Результаты и их обсуждение. Во все годы исследований сроки сева и предшественники обуславливали неодинаковые условия тепло- и влагообеспеченности пшеницы и ячменя озимых и существенно влияли на рост и развитие растений в осенний период.

Так, решающим фактором своевременного получения всходов и оптимального развития озимых культур была влажность 0–10 и 0–30 см слоя почвы в период сева. В среднем за 2018–2022 гг. она хотя и была различной, но достаточной для получения всходов, за исключением 2020 г., когда недостаток влаги в посевном слое почвы в первые сроки сева компенсировался лишь осадками, выпавшими в конце сентября–начале октября. Содержание влаги перед посевом как в верхнем 0–30 см (22,4–24,5 мм), так и в метровом (65,2–73,7 мм) слоях почвы было больше после ячменя, тогда как после подсолнечника меньшим соответственно на 6,3–7,2 и 23,3–29,1 мм.

При ранних сроках сева (10–20 сентября) в период осенней вегетации озимых культур количество осадков достигало в среднем 74 мм, изменяясь по годам от 40 мм (2020 г.) до 116 мм (2017 г.), а сумма активных температур составляла 906°С с колебаниями от 748 до 1060°С, тогда как при поздних сроках сева (10–20 октября) эти показатели не превышали в среднем 58 мм (28–101 мм) и 416°С (325–514°С).

Такие изменения погодных условий по-разному влияли на рост и развитие озимых культур (табл. 1).

Таблица 1. Морфологические показатели озимых культур в осенний период вегетации по непаровым предшественникам в зависимости от сроков сева, 2018–2022 гг.
Table 1. Morphological indicators of winter crops in the autumn vegetation period, when sown after non-fallow forecrops, depending on the sowing time, 2018–2022

Предшественник	Срок сева	Высота растений, см		Коэффициент кущения		Число узловых корней, шт.		Масса 10 сухих растений, г	
		1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**
Ячмень яровой	10.09	22,3	27,9	3,6	5,4	4,5	6,2	3,83	4,94
	20.09	22,1	26,0	3,0	5,0	3,9	5,7	3,48	4,61
	01.10	18,6	20,5	2,8	4,2	3,3	4,1	2,51	3,56
	10.10	15,4	17,7	2,5	3,3	2,0	3,1	2,10	3,37
	20.10	12,2	15,0	1,3	1,6	0,7	2,8	1,23	2,35
Подсолнечник	10.09	14,6	14,9	2,4	3,2	2,4	3,6	3,00	4,02
	20.09	14,5	15,0	2,4	3,1	2,4	3,5	2,70	3,87
	01.10	13,7	15,0	1,9	2,8	2,0	3,3	1,65	2,68
	10.10	13,0	14,2	1,2	2,0	1,6	3,1	0,98	2,00
	20.10	11,1	12,7	1,0	1,5	1,1	2,4	0,64	1,29
НСР ₀₅ для: сроков сева		2,51	2,28	0,2	0,3	0,4	0,5	0,48	0,44
предшественников		3,00	3,16	0,4	0,6	0,7	0,7	0,56	0,53

Примечание. * – пшеница озимая; ** – ячмень озимый.

При ранних сроках сева растения как пшеницы, так и ячменя образовывали наибольшее количество побегов кущения, число которых достигало в посевах после ячменя ярового от 3,0 до 5,4 шт., а после подсолнечника – от 2,4 до 3,2 шт., в них интенсивно развивалась как первичная, так и вторичная корневая система. Число узловых корней составляло от 3,9 до 6,2 после ячменя и 2,4–3,6 после подсолнечника, а высота растений – соответственно 22,1–27,9 и 14,5–15,0 см при массе сухой надземной части растений 174–223 г/м², что свидетельствовало о полном завершении фазы кущения и перерастании растений. В зимнее время такие растения сильно повреждались и частично погибали.

При самом позднем сроке сева (20.10), наоборот, растения, особенно пшеницы озимой, не всегда успевали хорошо раскуститься и сформировать мощную корневую систему. Коэффициент кущения у них не превышал 1,0–1,5, число узловых корней – 1,1–2,4 шт., а сухая масса надземной части едва достигала 32–58 г. Поэтому растения уходили в зиму недостаточно развитыми, тогда как растения ячменя озимого при поздних сроках сева имели существенные преимущества в развитии

по сравнению с пшеницей озимой. На время прекращения осенней вегетации растения ячменя озимого имели в среднем 1,5–2,0 побега и 2,5–3,1 узловых корней, а надземная сухая масса растений была в 2,0 раза большей, чем у пшеницы.

Наилучшими морфологическими показателями растения пшеницы и ячменя озимых отличались при посеве соответственно с 20 сентября по 1 октября после подсолнечника и с 1 по 10 октября после ячменя ярового.

Весной, после возобновления вегетации, рост и развитие растений ячменя озимого, независимо от сроков сева и предшественников, были более интенсивными и значительно опережали пшеницу. При этом у него быстро нарастала высота и масса растений, вследствие чего, начиная со второй половины апреля и до конца мая, когда устанавливается сухая и жаркая погода, растения ячменя озимого были лучше приспособлены к неблагоприятным условиям окружающей среды в сравнении с пшеницей.

Анализируя структурные показатели урожая озимых культур, следует отметить, что среди них самое значительное влияние на урожайность имели число продуктивных стеблей

на 1 м² и число зерен в колосе и их масса. Такая закономерность четко прослеживалась независимо от предшественника и сроков сева (табл. 2).

Так, при ранних сроках сева (10.09 и 20.09), независимо от предшественника, урожайность пшеницы озимой была выше, чем ячменя ози-

мого, на 0,60–2,40 т/га, или на 14,1–27,0 %, после ячменя ярового и 2,2–7,5 % – после подсолнечника. Главным образом на это влияло количество продуктивных стеблей пшеницы озимой, несмотря на то, что число зерен с колоса и их масса были несколько меньшими, а масса 1000 зерен меньшей, чем у ячменя озимого.

Таблица 2. Влияние сроков сева озимых культур на урожайность и ее структуру после непаровых предшественников, 2018–2022 гг.
Table 2. Effect of the sowing time of winter crops on the yield and its structure, when sown after non-fallow forecrops, 2018–2022

Предшественник	Срок сева	Число				Масса				Урожайность зерна, т/га	
		продуктивных стеблей, шт./м²		зерен в колосе, шт.		зерна с колоса, г		1000 зерен, г			
		1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
Ячмень яровой	10.09	374	364	32,5	35,1	1,04	1,07	31,4	22,8	3,81	2,78
	20.09	421	396	37,0	39,2	1,05	1,06	29,8	23,9	4,32	3,71
	01.10	405	417	34,6	40,8	1,04	1,10	30,0	26,3	4,17	4,48
	10.10	377	411	33,2	40,5	1,01	1,08	29,9	26,2	3,74	4,37
	20.10	329	370	31,6	36,7	1,01	1,06	31,6	28,4	3,29	3,86
Подсолнечник	10.09	262	253	28,1	34,4	1,04	1,05	36,1	29,9	2,66	2,60
	20.09	308	285	29,3	34,7	1,06	1,07	35,3	29,8	3,19	2,95
	01.10	320	327	29,5	35,3	1,07	1,09	35,4	30,3	3,34	3,50
	10.10	284	300	28,8	34,1	1,05	1,08	35,7	30,8	2,93	3,15
	20.10	281	285	28,4	34,2	1,06	1,09	36,9	31,5	2,95	3,08
НСР ₀₅ для: сроков сева предшественников										0,39	0,41
										0,55	0,58

Примечание. * – пшеница озимая; ** – ячмень озимый.

При севе в более поздние сроки, напротив, количество продуктивных стеблей, число и масса зерен с колоса были большими у ячменя озимого, что и повлияло на урожайность этих культур. Урожайность ячменя озимого по обоим предшественникам была выше, чем пшеницы, соответственно на 0,31–0,63 и 0,13–0,22 т/га, или на 6,9–14,8 % и 4,2–7,0 %.

Выводы. В условиях Донбасса при раннем сроке сева (10.09) по непаровым предшественникам растения пшеницы и ячменя озимых сильно перерастают: образуют большое количество побегов кущения, у них интенсивно развивается корневая система, накапливается значительная биомасса. При позднем сроке сева (20.10) лучше растут и развиваются растения ячменя. Они формируют больше побегов кущения, узловых корней, накапливают

достаточную надземную массу, тогда как растения пшеницы не успевают хорошо раскуститься и сформировать мощную корневую систему, поэтому уходят в зиму недостаточно развитыми. После возобновления весенней вегетации ячмень озимый независимо от сроков сева и предшественников опережает в росте и развитии пшеницу и уходит от летней жары. Урожайность озимых культур определяется главным образом количеством продуктивных стеблей, числом зерен с колоса и их массой. Поэтому оптимальными сроками сева, при которых формируется максимальная урожайность зерна пшеницы озимой после ячменя ярового и подсолнечника, следует считать период с 20 сентября по 1 октября, а ячменя озимого – с 1 по 10 октября.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А. Влияние сроков посева по различным предшественникам на урожайность и качество зерна мягкой озимой пшеницы сорта Краса Дона в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1. С. 4–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-4-10.
2. Барановский А. В., Курдюкова О. Н. Анализ динамики погодных условий Луганской области за последние 100 лет // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8 (173). С. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8.
3. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Болдырев М. А., Гладышева О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, № 1. С. 128–135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135.
4. Засыпкина И. М., Филиппов Е. Г., Попова О. А. Сравнительный анализ сортов озимого ячменя по урожайности и ее компонентов в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. № 5. С. 59–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-59-65.
5. Ещенко В. Е., Трифонова М. Ф., Копыто П. Г., Соловьев А. М., Фирсов И. П., Шевченко В. А. Основы опытного дела в растениеводстве. М.: КолосС, 2009. 268 с.

6. Волков С. Н., Савинова С. В., Черкашина Е. В., Шаповалов Д. А., Братков В. В., Ключин П. В. Оценка современных климатических изменений на территории Предкавказья для целей прогнозирования урожайности озимой пшеницы // Юг России: экология, развитие. Т. 16, № 1. С. 117–127. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-117-127.
7. Попов А. С. Сроки посева твердой озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6. С. 28–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-28-32.
8. Растениеводство в климатических условиях Юго-Востока Украины / В. Г. Ткаченко [и др.]. Луганск: Элтон-2, 2013. 568 с.
9. Чуюн О. Г., Дериглазова Г. М. Оценка агроклиматического потенциала продуктивности пашни для модели управления агрохимическими свойствами почв // Земледелие. 2018. № 7. С. 6–11. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10702.
10. Ren A., Sun M., Wang P., Xue L., Lei M., Xue J., Gao Z., Yang Z. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18(1), P. 33–42. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61980-X.

References

1. Alabushev A. V., Popov A. S., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A. Vliyanie srokov poseva po razlichnym predshestvennikam na urozhainost' i kachestvo zerna myagkoi ozimoi pshenitsy sorta Krasa Dona v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [The effect of sowing dates according to various forecrops on the productivity and grain quality of winter common wheat variety 'Krasa Dona' in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 1. S. 4–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-4-10.
2. Baranovskii A. V., Kurdyukova O. N. Analiz dinamiki pogodnykh uslovii Luganskoi oblasti za poslednie 100 let [Analysis of the dynamics of weather conditions in the Luhansk region over the past 100 years] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 8 (173). S. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8.
3. Levakova O. V., Dedushev I. A., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Boldyrev M. A., Gladysheva O. V. Vliyanie agrometeorologicheskikh izmenenii klimata na zernovuyu produktivnost' yarovogo yachmenya v usloviyakh nechernozemnoi zony RF [Effect of agrometeorological climate changes on the grain productivity of spring barley under the conditions of the nonchernozem zone of the Russian Federation] // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. 2022. T. 17, № 1. S. 128–135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135.
4. Zasyapkina I. M., Filippov E. G., Popova O. A. Sravnitel'nyi analiz sortov ozimogo yachmenya po urozhainosti i ee komponentov v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Comparative analysis of winter barley varieties according to productivity and its elements in the conditions of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 5. S. 59–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-59-65.
5. Eshchenko V. E., Trifonova M. F., Kopytko P. G., Solov'ev A. M., Firsov I. P., Shevchenko V. A. Osnovy opytnogo dela v rastenievodstve [Fundamentals of experimental work in crop production]. M.: KolosS, 2009. 268 s.
6. Volkov S. N., Savinova S. V., Cherkashina E. V., Shapovalov D. A., Bratkov V. V., Klyushin P. V. Otsenka sovremennykh klimaticheskikh izmenenii na territorii Predkavkaz'ya dlya tselei prognozirovaniya urozhainosti ozimoi pshenitsy [Estimation of modern climate changes in the territory of Ciscaucasia for the purpose of predicting winter wheat productivity] // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. T. 16, № 1. S. 117–127. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-1-117-127>.
7. Попов А. С. Сроки посева твердой озимой пшеницы [Sowing time of winter durum wheat] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 6. С. 28–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-28-32.
8. Растениеводство в климатических условиях Юго-востока Украины [Plant production in the climatic conditions of the South-East of Ukraine] / В. Г. Ткаченко [и др.]. Луганск: Элтон-2, 2013. 568 с.
9. Чуюн О. Г., Дериглазова Г. М. Оценки агроклиматического потенциала продуктивности пашни для модели управления агрохимическими свойствами почв [Estimation of the agro-climatic potential of arable land productivity for the model of managing the agrochemical properties of soils] // Земледелие. 2018. № 7. С. 6–11. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10702.
10. Ren A., Sun M., Wang P., Xue L., Lei M., Xue J., Gao Z., Yang Z. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18(1), P. 33–42. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61980-X.

Поступила: 09.12.22; доработана после рецензирования: 27.03.23; принята к публикации: 27.03.23.

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. Конопля Н. И. – выполнение полевых исследований, анализ данных и их интерпретация; Курдюкова О. Н. – концептуализация исследования, подготовка опыта, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОРГО НА ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Н. Н. Шаповалова, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией почвоведения и агрохимии, schapovalova.nadejda@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2485-6682;

А. Б. Володин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией сорго, ORCID ID: 0000-0002-2944-4241;

Е. А. Менькина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, ORCID ID: 0000-0002-0512-8893;

Д. А. Ахмедшина, младший научный сотрудник лаборатории почвоведения и агрохимии, ORCID ID: 0000-0001-9063-8734

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49; e-mail: info@fnac.center

Представлены результаты исследований в опыте, включенном в Географическую сеть опытов с удобрениями, заложенном в 1975 г. на черноземе обыкновенном в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Цель исследований – выявить влияние последействия длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы, урожай и качество зерна сорго в зависимости от погодных условий года. Установлено, что после 30 лет действия и 14 лет последействия применения фосфорного удобрения в дозах 60–180 кг/га д.в. содержание остаточного фосфора в слое 0–20 см почвы перед посевом сорго варьировало от 25 до 55 мг/кг. Урожайность культуры находилась в тесной зависимости от погодных условий и агрохимического состояния почвы. В засушливых условиях 2020 г. наиболее высокий урожай зерна (2,5–3,16 т/га) был получен на участках последействия фосфорного удобрения с повышенным содержанием P_2O_5 в почве (более 30 мг/кг), во влажный год – в последействии азотного удобрения на фоне низкой обеспеченности фосфатами (12–16 мг/кг) – 5,10–5,64 т/га. В разных погодных условиях максимальный уровень урожайности сорго был достигнут в последействии полного минерального удобрения или при сбалансированном питательном режиме почвы: в 2020 г. – 3,81–4,96 т/га и в 2022 г. – 5,44–6,14 т/га. Качество зерна сорго также обуславливалось погодой и свойствами почвы. Зерно с наиболее высоким содержанием сырого протеина (9,9–13,6 %) получено в засушливый год в последействии азотного удобрения. В оба года исследования наименьшую питательную ценность имела продукция, полученная в последействии внесения высоких доз одного фосфорного удобрения (120–180 кг/га д.в.). Содержание сырого протеина не превышало 2,2–7,8 %. Для стабилизации урожайности и повышения питательной ценности зерна сорго необходимо в первую очередь оптимизировать азотное питание растений, особенно в условиях хорошей влагообеспеченности посевов.

Ключевые слова. Зерновое сорго, последействие минеральных удобрений, элементы питания, свойства почвы, качество зерна.

Для цитирования: Шаповалова Н. Н., Володин А. Б., Менькина Е. А., Ахмедшина Д. А. Влияние последействия длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна сорго на черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 15, № 2. С. 84–91. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-84-91.



THE INFLUENCE OF THE AFTEREFFECT OF LONG-TERM USE OF MINERAL FERTILIZERS ON SORGHUM GRAIN PRODUCTIVITY AND QUALITY ON ORDINARY BLACKEARTH OF THE CENTRAL PRE-CAUCASUS

N. N. Shapovalova, senior researcher, head of the laboratory for soil study and agrochemistry, schapovalova.nadejda@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2485-6682;

A. B. Volodin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for sorghum, ORCID ID: 0000-0002-2944-4241;

E. A. Men'kina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for soil study and agrochemistry, ORCID ID: 0000-0002-0512-8893;

D. A. Akhmedshina, junior researcher of the laboratory for soil study and agrochemistry, ORCID ID: 0000-0001-9063-8734

FSBSI "North-Caucasus Federal Scientific Agrarian Center", 356241 Stavropol Territory, Mikhaylovsk, Nikonov Str., 49; e-mail: info@fnac.center

There have been presented the study results of the experiment of the Geographical Network of Experiments with fertilizers, established in 1975 on ordinary chernozem under conditions of unstable moisture in the Stavropol Territory. The purpose of the current study was to reveal the influence of the aftereffect of the long-term use of mineral fertilizers on the agrochemical properties of soil, productivity, and quality of sorghum grain, depending on the weather conditions of the year. There has been established that, after 30 years of action and 14 years of aftereffect of the use of phosphorus fertilizers in doses of 60–180 kg/ha of a.i. the content of residual phosphorus in the soil layer of 0–20 cm before sowing sorghum varied from 25 to 55 mg/kg. The crop productivity was closely dependent on

weather conditions and the agrochemical condition of the soil. In arid conditions in 2020, the largest grain productivity (2.5–3.16 t/ha) was obtained in areas of phosphorus fertilizer's aftereffect with a high content of P_2O_5 in soil (more than 30 mg/kg). In the wet year, the largest productivity (5.10–5.64 t/ha) were obtained in nitrogen fertilizers' aftereffect against the background of low phosphates availability (12–16 mg/kg). In different weather conditions, the maximum level of sorghum productivity was obtained in the aftereffect of complete mineral fertilizer or with a balanced nutrient regime of the soil, in 2020 it was 3.81–4.96 t/ha and in 2022 it was 5.4–6.14 t/ha. Sorghum grain quality was also determined by the weather and soil properties. Grain with the highest crude protein percentage (9.9–13.6 %) was obtained in a dry year after the effect of nitrogen fertilizer. In both years of the study, the products obtained after the application of high doses of one phosphorus fertilizer (120–180 kg/ha a.i.) had the least nutritional value. The crude protein percentage in grain did not exceed 2.2–7.8 %. To stabilize productivity and increase the nutritional value of sorghum, it is necessary, first of all, to optimize the nitrogen nutrition of plants, especially in conditions of good moisture supply.

Keywords: grain sorghum, mineral fertilizers' aftereffect, nutrients, soil properties, grain quality.

Введение. В мировом сельскохозяйственном производстве сорго занимает достойное пятое место, уступая по посевным площадям лишь пшенице, рису, кукурузе и ячменю. На долю сорго зернового приходится 39,3–44,8 млн га, а средняя урожайность зерна составляет около 1,4–1,6 т/га (Ковтунов, 2018). Широкое распространение культуры обусловлено ее неприхотливостью, нетребовательностью к уходу, высокой адаптивностью за счет способности оптимально использовать влагу и формировать полноценный урожай в неблагоприятных погодных условиях, при которых его не всегда можно получить от традиционных зерновых культур (Baranovsky et al., 2022; Глуховцев и др., 2014).

Сорго растет практически на всех почвах, но для достижения высокой урожайности необходимо удобрять посевы или размещать их на участках с оптимальными агрохимическими свойствами, отвечающими требованиям культуры (Бойко и др., 2022; Алабушев и др., 2011). Так, в период интенсивного роста и формирования листостебельной массы растениям необходим азот; при образовании корней, во время цветения и плодоношения – фосфор; для накопления углеводов (сахаров) – калий (Baranovsky et al., 2020; Кух и Среда, 2014). Отзывчивость сорго на плодородие почвы лучше всего определять в полевом опыте, в котором длительное время систематически применялись разные виды и дозы минеральных удобрений, и после прекращения их внесения (в период последействия) образовались разные агрофоны с различным содержанием и соотношением остаточных количеств питательных элементов (Шаповалова и Годунова, 2019).

В современном земледелии исследований по вопросам влияния удобрений и плодородия почвы на урожайность зернового сорго в условиях Центрального Предкавказья недостаточно. Это связано как с сокращением объемов кормопроизводства, так и со значительным ростом цен на минеральные удобрения и экономической целесообразностью их применения лишь под наиболее отзывчивые и востребованные на рынке зерновые культуры – озимую пшеницу, ячмень и кукурузу. Поэтому оценка вклада плодородия почвы в повышение урожайности зернового сорго является весьма актуальной задачей, имеющей практическое значение в развитии кормовой базы животноводства.

Цель исследований – выявить влияние последствий длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства чернозема обыкновенного, урожай и качество зерна сорго в зависимости от погодных условий года.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2020 и 2022 гг. на экспериментальном полигоне лаборатории почвоведения и агрохимии ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в длительном стационарном опыте Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами, заложенном в 1975 году. В опыте возделывался сорт зернового сорго КиМ селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным мощным малогумусным тяжелосуглинистым на карбонатном лессовидном суглинке. При закладке опыта свойства почвы в слое 0–20 см характеризовались следующими основными показателями: содержание гумуса по Тюрину – 4,3 %; подвижного фосфора и калия в 1 % углеаммонийной вытяжке по Мачигину – 12,9 и 184 мг/кг; pH водной суспензии – 7,3; валовой азот – 0,32 %; валовой фосфор – 0,12 %; валовой калий – 2,13 %; общие карбонаты по Павлову – 1,17 %.

Схемой опыта предусматривалось внесение разных видов простых удобрений в возрастающих дозах отдельно и на фоне двух других элементов питания по 120 кг/га д.в. каждого. В качестве удобрений использовали аммиачную селитру, суперфосфат и 40-процентную калийную соль, которые в течение первых трех ротаций севооборота вносились ежегодно перед посевом культуры, исключая поле чистого пара. С 1993 по 1995 г. удобрения не применялись вовсе, а с осени 1996–1998 по весну 2005–2007 г. – только фосфорное и азотное удобрения по прежней схеме. За 30 лет прямого действия удобрений проведено 21-кратное наложение азотного и фосфорного и 15-кратное калийного удобрений. По вариантам опыта суммарно было внесено от 630 до 3780 кг/га азота, от 630 до 3780 кг/га фосфора и от 450 до 2700 кг/га калия.

Прямое действие удобрений изучалось в шестипольном полевом севообороте, который в первых трех ротациях был развернут по схеме: 1. Чистый пар; 2. Озимая пшеница; 3. Озимая пшеница; 4. Кукуруза на силос;

5. Озимая пшеница; 6. Овес (яровой ячмень). В IV и V ротациях кукуруза была заменена занятым паром. С 2006 г. проводили наблюдения за последствием удобрений. В этот период культуры чередовались следующим образом: чистый пар – озимая пшеница – озимый ячмень – соя – яровой ячмень – лен – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – горох – озимая пшеница – чистый пар – озимая пшеница – подсолнечник – зерновое сорго. Опыт изначально проводили на трех полях, последовательно закладываемых во времени с интервалом в один год. К началу изучения последствия (2006 г.) в опыте сохранились лишь две временные повторности. Площадь опытной делянки составляет 75 м², уборочная площадь – 22 м². Повторность вариантов на каждом поле четырехкратная.

В процессе проведения лабораторных исследований использовали общепринятые методики определения основных показателей агрохимического состояния почвы: подвижный фосфор и калий по Мачигину (ГОСТ 26205-91), нитратный азот по Грандваль-Ляжу. Анализ качества продукции проведен методом инфракрасной спектроскопии. Урожайность учитывали прямым обмолотом малогабаритным селекционным комбайном «Wintersteiger» с последующим пересчетом на стандартную влажность. Полученные результаты обработаны математическим методом статистического анализа данных с использованием программы AgCStat-Excel.

В годы исследований погодные условия заметно отличались как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков, причем наиболее существенные различия наблюдались в обеспеченности посевов влагой. Средняя температура воздуха за время вегетации сорго составила в 2020 г. 20,8 °С и в 2022 г. – 19,7 °С, что выше среднегодового значения показателя на 1,3 и 0,2 °С соответственно. Отклонение среднемесячных температур воздуха от нормы находилось в пределах от –0,3 до 3,0 °С в 2020 г.

и от –2,2 до 1,8 °С в 2022 году. То есть в 2022 г. наблюдалась более высокая амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха.

Сумма осадков вегетационного периода составила в 2020 г. 228 мм, или 78 %, и в 2022 г. – 383 мм, или 131%, к норме. В 2020 г. крайне засушливыми оказались август и сентябрь (14 и 6 % от нормы), а в 2022 г. недобор осадков отмечался лишь в августе (72 %). Таким образом, по температурному режиму и количеству выпавших осадков 2020 г. характеризовался как засушливый, а 2022 г. – влажный. ГТК по Селянинову – 0,72 и 1,27 соответственно. Погодные условия обусловили различия в урожайности культуры как на естественном фоне плодородия (контроль), так и на удобренных фонах с разным содержанием остаточных форм основных элементов питания. Агрофоны были созданы в результате 30 лет применения минеральных удобрений в различных дозах и соотношении питательных элементов, последствие которых наблюдалось и в 15-й год при возделывании сорго.

Результаты и их обсуждение. Состояние эффективного плодородия почвы перед посевом сорго обуславливалось количеством удобрений, внесенных с первой по пятую ротацию севооборота. Наиболее заметный и длительный эффект последствия отмечался в результате применения фосфорного удобрения. При этом количество остаточных фосфатов превышало содержание P₂O₅ в контроле даже после длительного использования небольших доз фосфорного удобрения (30–60 кг/га д.в.) – на 8–20 мг/кг. Через 14 лет последствия длительного применения разных видов и доз минеральных удобрений питательный режим почвы характеризовался следующими основными показателями.

Содержание подвижного фосфора в слое 0–20 см в вариантах последствия внесения одного азотного удобрения составило 12–16 мг/кг, что соответствовало природному уровню плодородия чернозема, а на фоне P₁₂₀K₁₂₀ – 28–38 мг/кг (табл. 1).

Таблица 1. Содержание подвижного фосфора в слое 0–20 см почвы перед посевом сорго в 15-й год последствия минеральных удобрений, мг/кг
Table 1. Content of labile phosphorus in the soil layer of 0–20 cm before sowing sorghum in the 15th year of mineral fertilizers' aftereffect, mg/kg

Последствие азотного удобрения			Последствие фосфорного удобрения		
Доза удобрения, кг/га д.в.	P ₂ O ₅ , мг/кг	± к контролю	Доза удобрения, кг/га д.в.	P ₂ O ₅ , мг/кг	± к контролю
N ₀	16	–	P ₀	17	–
N ₃₀	13	–3	P ₃₀	25	8
N ₆₀	13	–3	P ₆₀	37	20
N ₉₀	16	0	P ₉₀	46	29
N ₁₂₀	16	0	P ₁₂₀	55	38
N ₁₅₀	13	–3	P ₁₅₀	48	31
N ₁₈₀	12	–4	P ₁₈₀	32	15
P ₁₂₀ K ₁₂₀ – фон	38	22	N ₁₂₀ K ₁₂₀ – фон	17	0
фон + N ₃₀	37	21	фон + P ₃₀	18	1
фон + N ₆₀	32	16	фон + P ₆₀	25	8
фон + N ₉₀	30	14	фон + P ₉₀	32	15

В засушливых условиях 2020 г. существенное влияние на урожайность сорго оказали остаточные формы подвижных фосфатов при повышенном содержании их в пахотном слое почвы – от 30 до 55 мг/кг, особенно в последствии совместного применения фосфорных и азотно-калийных туков. Прирост урожайности культуры от последствия одного фосфорного удобрения в дозах

90–180 кг/га д.в. составил 0,27–0,93 т/га, фосфора в дозах 150–180 кг/га на фоне $N_{120}K_{120}$ – 0,94–1,14 т/га и от фосфорно-калийного фона ($P_{120}K_{120}$) – 1,43–1,78 т/га (табл. 3). Наибольшая урожайность зерна сорго была получена в последствии высоких доз фосфора на азотно-калийном фоне ($N_{120}P_{150-180}K_{120}$) – 4,76–4,96 т/га, что составило 213–222 % к урожайности в не удобренном контроле.

Таблица 3. Влияние последствия удобрений на урожайность сорго в засушливых условиях, т/га (2020 г.)

Table 3. Influence of fertilizers' aftereffect on sorghum productivity in dry conditions, t/ha (2020)

Фон	Доза, кг/га д.в.	Урожайность в последствии		Разность по факторам			
		азотного удобрения	фосфорного удобрения	фон		доза	
				$P_{120}K_{120}$	$N_{120}K_{120}$	азота	фосфора
Естественный	0	2,47	2,23	–	–	–	–
	30	2,38	2,21	–	–	–0,09	–0,02
	60	2,17	2,12	–	–	–0,3	–0,11
	90	2,23	3,06	–	–	–0,24	0,83
	120	2,56	2,72	–	–	0,09	0,49
	150	3,75	2,50	–	–	1,28	0,27
	180	3,26	3,16	–	–	0,79	0,93
Удобрённый	0	3,98	3,82	1,51	1,59	–	–
	30	3,81	4,06	1,43	1,85	–0,17	0,24
	60	3,95	3,84	1,78	1,72	–0,03	0,02
	90	3,98	3,88	1,75	0,82	0,0	0,06
	120	4,25	3,87	1,69	1,15	0,27	0,05
	150	3,43	4,96	–0,32	2,46	–0,53	1,14
	180	3,36	4,76	0,10	1,60	–0,62	0,94
НСП ₀₅ по факторам		–		0,14		0,26	
НСП ₀₅ для средних		0,52		–		–	

Положительное влияние на урожайность сорго оказало также последствие применения высоких доз одного азотного удобрения ($N_{150-180}$) на фоне низкого содержания подвижного фосфора в почве – 12–13 мг/кг. Прирост урожая зерна относительно контроля находился в пределах 0,79–1,28 т/га, что близко к значениям показателя, полученным в результате последствия фосфорного удобрения. На ос-

новании результатов определения численности почвенных дрожжей можно предположить, что недостаток минеральных подвижных форм фосфора мог быть компенсирован растениями с помощью микроорганизмов за счет использования фосфора органических соединений, составляющих 60–80 % от общих запасов P_{2O_5} в почве, и малодоступных фосфатов (табл. 4).

Таблица 4. Численность почвенных дрожжей в слое 0–20 см почвы после 12 лет последствия минеральных удобрений, тыс. КОЕ/г АСП

Table 4. Number of soil yeasts in the soil layer of 0–20 cm after 12 years of mineral fertilizers' aftereffect, thousand CFU/g ASP

Виды удобрений	Доза азота, кг/га	Численность почвенных дрожжей	Разность	
			по фону	по дозе
Азотное	0	27,6	–	–
	N_{30}	26,5	–	–1,1
	N_{90}	27,6	–	0,0
	N_{150}	68,8	–	41,2
Азотное на фоне $P_{120}K_{120}$	0	30,7	3,1	–
	N_{30}	28,6	2,1	–2,1
	N_{90}	81,7	54,1	51,0
	N_{150}	88,2	19,4	57,5
НСП ₀₅		19,8	7,0	9,9

Во влажном 2022 г. отмечено заметное преимущество последствия азотного перед фосфорным удобрением при отдельном внесении элементов. Отличия по урожайности между видами удобрений находились в пределах от 0,73 до 1,36 т/га (табл. 5). Прирост урожайности сорго под влиянием последствия азота в дозах 60–180 кг/га при отдельном внесении составил 1,16–1,70; на фоне $P_{120}K_{120}$ – 1,04–2,25 т/га относительно контроля. В сравнении с азотным удобрением прирост от последствия одного фосфора в тех же дозах варьировал от 0,51

до 1,18 т/га, на фоне $N_{120}K_{120}$ – от 1,28–1,73 т/га. То есть отзывчивость культуры на последствие возрастающих доз азота и фосфора в составе полного удобрения была близкой. Следовательно, во влажный год урожайность сорго, полученная в результате последствия длительного применения одного азотного и полного минерального удобрений в дозах 60–180 кг/га азота, достоверно не различалась и находилась в пределах 5,10–5,64 и 4,90–6,11 т/га соответственно.

Таблица 5. Влияние последствия удобрений на урожайность сорго во влажных условиях, т/га (2022 г.)

Table 5. Influence of fertilizers' aftereffect on sorghum productivity in wet conditions, t/ha (2022)

Фон	Доза, кг/га д.в.	Урожайность в последствии		Разность по факторам			
		азотного удобрения	фосфорного удобрения	фон		доза	
				$P_{120}K_{120}$	$N_{120}K_{120}$	азота	фосфора
Естественный	0	3,94	3,60	–	–	–	–
	30	4,26	3,53	–	–	0,32	–0,07
	60	5,26	4,28	–	–	1,32	0,68
	90	5,10	4,17	–	–	1,16	0,57
	120	5,64	4,78	–	–	1,70	1,18
	150	5,47	4,11	–	–	1,53	0,51
	180	5,59	4,49	–	–	1,65	0,89
Удобрённый	0	3,86	3,53	–0,08	–0,07	–	–
	30	3,70	3,50	–0,56	–0,03	–0,16	–0,03
	60	5,05	4,81	–0,21	0,53	1,19	1,28
	90	5,28	5,07	0,18	0,90	1,42	1,54
	120	6,11	5,26	0,47	0,48	2,25	1,73
	150	5,44	5,22	–0,03	1,11	1,58	1,69
	180	4,90	5,17	–0,69	0,68	1,04	1,64
НСР ₀₅ по факторам		–		Fф < Fт		0,42	
НСР ₀₅ для средних		0,85		–		–	

По количеству сырого протеина питательность зернового сорго превосходит кукурузу и равноценна ячменю. Учитывая, что урожайность сорго выше, чем у ячменя, то с одного гектара сорго можно получить в 1,5–2,0 раза больше сырого протеина, чем с 1 га ячменя.

В засушливых условиях 2020 г. в не удобренном контроле содержание сырого протеина в зерне сорго составило 8,1–8,9 % (табл. 6). Под влиянием последствия длительного применения азотного удобрения как отдельно, так и на фосфорно-калийном фоне сформировалось зерно с наиболее высоким значением этого показателя – 9,9–13,6 %. Наименьшую питательную ценность имела зерновая продукция, полученная в последствии внесения одного фосфорного удобрения в высоких дозах, – 120–180 кг/га д.в. Содержание сырого протеина не превышало 2,2–4,1%. Крайне низкие значения показателя обусловлены существенным уменьшением содержанием гумуса в пахотном слое почвы без применения азот-

ных удобрений в течение 45 лет проведения опыта.

Зерно, выращенное во влажных условиях 2022 г., в сравнении с 2020 г. характеризовалось более низким содержанием сырого протеина, что свидетельствует о нехватке легкоусвояемых форм азота для формирования продукции с лучшими показателями качества. Как и в засушливый год, наибольшее содержание в зерне протеина (8,3–10,0 %) отмечено в последствии одного азотного удобрения при невысоком уровне содержания подвижного фосфора в почве – 13–16 мг/кг. В последствии применения одного фосфорного удобрения получено зерно с наименьшими значениями показателя – 6,8–8,0 %. Таким образом, для повышения питательной ценности зерна сорго в разные по погодным условиям годы необходимо оптимизировать азотное питание растений посредством проведения азотной подкормки, что особенно важно в условиях хорошей влагообеспеченности посевов.

Таблица 6. Влияние последействия удобрений на содержание сырого протеина в зерне сорго, %
Table 6. Influence of fertilizers' aftereffect on crude protein percentage in sorghum grain, %

Фон	Доза, кг/га д.в.	Последействие азотного удобрения		Последействие фосфорного удобрения	
		засушливый 2020 г.	влажный 2022 г.	засушливый 2020 г.	влажный 2022 г.
Естественный	0	8,1	8,1	8,9	8,8
	30	13,6	8,7	6,4	7,4
	60	10,2	8,3	8,0	6,8
	90	9,9	9,4	9,3	8,0
	120	10,5	8,7	4,0	7,2
	150	11,2	10,0	2,2	7,8
	180	10,3	8,6	4,1	7,5
Удобрённый	0	10,2	9,1	9,6	6,5
	30	10,3	8,4	10,3	7,8
	60	10,2	7,8	8,0	8,0
	90	12,1	8,2	8,6	8,1
	120	11,0	8,3	7,6	7,5
	150	10,9	8,1	9,4	8,3
	180	11,7	8,0	10,0	7,7
НСР ₀₅		3,71	1,53	3,71	1,53

Выводы. Таким образом, в результате 30 лет применения минеральных удобрений в почве были созданы агрофоны с различным содержанием и соотношением остаточных количеств питательных элементов, влияние которых наблюдалось и в 15-й год изучения последействия при выращивании зернового сорго. Для формирования высокой урожайности сорго в засушливых условиях посевы необходимо размещать на почвах с повышенным уровнем содержания фосфора – более 30 мг/кг. Во влажные годы высокой продуктивности культуры можно достичь и на фоне низкой обеспеченности фосфатами, но лишь при улучшении азотного режима почвы. Однако в разные по погод-

ным условиям годы наиболее высокий уровень урожайности сорго формируется в последействии полного минерального удобрения или при сбалансированном питательном режиме почвы. Оптимизация азотного питания растений также необходима в целях повышения питательной ценности зерна, особенно в условиях хорошей влагообеспеченности посевов. Полученные результаты могут быть использованы для разработки рекомендаций по повышению агрономической и экономической эффективности выращивания зернового сорго в условиях неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Метлина Г. В., Васильченко С. А. Влияние удобрений на продуктивность сорго зернового в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2011. № 6. С. 49–52.
2. Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Володин А. Б., Нижельский Т. Н. Потенциал продуктивности сорго сахарного в южной лесостепи Западной Сибири // Кормопроизводство. 2022. № 4. С. 29–33. DOI: 10.25685/KRM.2022.59.17.001.
3. Глуховцев В. В., Глуховцева Л. Ф., Антимонов А. К., Антимонова О. Н. Роль сортов сахарного и зернового сорго в укреплении кормовой базы в засушливых условиях Среднего Поволжья и Урала // Известия Оренбургского аграрного университета. 2014. № 3. С. 37–39.
4. Ковтунов В. В. Посевная площадь и урожайность сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3 (57). С. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.
5. Кух М. В., Среда В. И. Влияние удобрений на урожайность сортов сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2014. № 3. С. 55–58.
6. Шаповалова Н. Н., Годунова Е. И. Динамика элементов питания и урожайность культур при последействии длительного применения минеральных удобрений на черноземе обыкновенном // Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 44–50. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10074.
7. Шаповалова Н. Н., Годунова Е. И. Последействие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1(106). С. 11–14. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.03.
8. Baranovsky A. V., Kosogova T. M., Kapustin S. I., Kapustin A. S. The effect of nitrogen fertilizers on the productivity of grain sorghum // Bioscience research. 2020. Vol. 17, № 1. P. 228–234.
9. Baranovsky A. V., Sadovoy A. S., Kapustin S. I., Kapustin A. S., Stroyny A. M., Golub A. S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // International journal of ecosystems and ecology science-IJEES. 2022. Vol. 12, № 1. P. 1–6. DOI: 10.31407/ijeess.12.101.

References

1. Alabushev A. V., Metlina G. V., Vasil'chenko S. A. Vliyanie udobrenii na produk-tivnost' sorgo zernovogo v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [The effect of fertilizers on grain sorghum productivity in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2011. № 6. S. 49–52.

2. Boiko V.S., Timokhin A. Yu., Volodin A.B., Nizhel'skii T.N. Potentsial produk-tivnosti sorgo sakharnogo v yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [Productivity potential of sweet sorghum in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Kormoproizvodstvo. 2022. № 4. S. 29–33. DOI: 10.25685/KRM.2022.59.17.001.
3. Glukhovtsev V.V., Glukhovtseva L.F., Antimonov A.K., Antimonova O.N. Rol' sor-tov sakharnogo i zernovogo sorgo v ukreplenii kormovoi bazy v zasushlivykh usloviyakh Srednego Povolzh'ya i Urala [The role of sweet and grain sorghum varieties in improving the forage base in arid conditions of the middle Volga region and the Urals] // Izvestiya Orenburgskogo agrarnogo universiteta. 2014. № 3. S. 37–39.
4. Kovtunov V.V. Posevnaya ploshchad' i urozhainost' sorgo zernovogo [Sown area and productivity of grain sorghum] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 3 (57). S. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.
5. Kukh M.V., Sreda V.I. Vliyanie udobrenii na urozhainost' sortov sorgo zernovogo [Effect of fertilizers on grain sorghum varieties' productivity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2014. № 3. S. 55–58.
6. Shapovalova N.N., Godunova E.I. Dinamika elementov pitaniya i urozhainost' kul'tur pri posledeistvii dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobrenii na chernozeme obyknovennom [Dynamics of fertilizers and crop productivity under the aftereffect of long-term use of mineral fertilizers on ordinary blackearth] // Agrokhimicheskii vestnik. 2019. № 5. S. 44–50. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10074.
7. Shapovalova N.N., Godunova E.I. Posledeistvie 30-letnego primeneniya mine-ral'nykh udobrenii na produktivnost' chernozema obyknovennogo Tsentral'nogo Predkavkaz'ya [Aftereffect of 30-year use of mineral fertilizers on ordinary blackearth fertility in the Central Pre-Caucasus] // Plodorodie. 2019. № 1 (106). S. 11–14. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.03.
8. Baranovsky A.V., Kosogova T.M., Kapustin S.I., Kapustin A.S. The effect of nitrogen fertilizers on the productivity of grain sorghum // Bioscience research. 2020. Vol. 17, № 1. P. 228–234.
9. Baranovsky A.V., Sadovoy A.S., Kapustin S.I., Kapustin A.S., Stroyny A.M., Golub A.S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // International journal of ecosystems and ecology science-IJEES. 2022. Vol. 12, № 1. P. 1–6. DOI: 10.31407/ijeess12.101.

Поступила: 06.02.23; доработана после рецензирования: 17.02.23; принята к публикации: 20.02.23.

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. Шаповалова Н. Н. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Володин А. Б. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных; Менькина Е. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Ахмедшина Д. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОСОБЕННОСТИ СОРТА МЯГКОЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ЗОДИАК ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЕГО ПО РАЗЛИЧНЫМ ПРЕДШЕСТВЕННИКАМ И СРОКАМ ПОСЕВА

А. С. Попов¹, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых культур, popowaleksey@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6593-1138;

Г. В. Овсянникова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых культур, ORCID ID: 0000-0002-6667-2032;

А. А. Сухарев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых культур, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;

И. К. Копман¹, агроном лаборатории технологии возделывания зерновых культур;

Д. М. Марченко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

И. В. Фетюхин², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия и технологии хранения растениеводческой продукции, fetuchin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4975-8085

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347730, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 346493, Ростовская обл., Октябрьский р-н, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова, д. 24

Исследования проводили в южной зоне Ростовской области в агротехническом севообороте лаборатории технологии возделывания зерновых культур. Цель исследований – определить влияние на урожайность и качество зерна сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак таких факторов, как предшественник и срок посева. В ходе исследований установлено, что сорт Зодиак формирует высокую урожайность – до 9,70 т/га. Выяснено, что высокая пластичность сорта Зодиак позволяет получать высокую урожайность при различных сроках посева, однако наблюдается тенденция к формированию максимальной продуктивности при посеве в оптимальные для зоны сроки (20 и 30 сентября). Обнаружено, что высокая урожайность по предшественнику черный пар обеспечивается количеством продуктивных стеблей (до 596 шт./м²) и продуктивностью одного колоса (число зерен в колосе до 31,3 шт., масса зерна в колосе до 1,42 г). По всем предшественникам в варианте с поздним сроком посева отмечается снижение количества зерен в колосе (на 6,2–22,9 %) и массы зерна с колоса (на 1,7–11,7 %) в сравнении с более ранними сроками посева. Биохимический анализ показал, что при посеве по предшественникам черный пар и горох полученное зерно имело максимальное содержание белка – в среднем до 14,1 и 13,3 % соответственно. Установлено, что сорт Зодиак способен к формированию качественно-го зерна даже при возделывании его по предшественнику подсолнечник (содержание белка – 12,3–12,6 %, клейковины – 22,5–23,5 %). Наилучшие экономические показатели при возделывании сорта Зодиак получены при размещении его по предшественнику черный пар – рентабельность до 191 %, условный чистый доход – до 77 993 руб./га.

Ключевые слова: мягкая озимая пшеница, сорт Зодиак, предшественник, срок посева, структура урожайности, качество зерна, экономическая эффективность.

Для цитирования: Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Копман И. К., Марченко Д. М., Фетюхин И. В. Особенности сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак при возделывании его по различным предшественникам и срокам посева // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 92–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-92-98.



FEATURES OF THE WINTER COMMON WHEAT VARIETY 'ZODIAK' WHEN CULTIVATING IT ACCORDING TO VARIOUS FORECROPS AND SOWING TIME

A. S. Popov¹, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain crops, popowaleksey@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6593-1138;

G. V. Ovsyannikova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain crops, ORCID ID: 0000-0002-6667-2032;

A. A. Sukharev¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technology of grain crops, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;

I. K. Kopman¹, agronomist of the laboratory for cultivation technology of grain crops;

D. M. Marchenko¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

I. V. Fetyukhin², Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of agriculture and technologies of plant production storage, fetuchin@yandex.ru ORCID ID: 0000-0003-4975-8085

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

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University", 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, v. of Persiyanovsky, Krivoshlykov Str., 24

The current study was carried out in the southern part of the Rostov region in the agrotechnical crop rotation of the laboratory for grain cultivation technology. The purpose of the study was to determine the effect of such factors as a forecrop and sowing time on productivity and grain quality of the winter common wheat variety 'Zodiak'. During the study, there was found that the variety 'Zodiak' produced up to 9.70 t/ha. There was established that the high adaptability of the variety 'Zodiak' made it possible to obtain high yields at different sowing dates, however, there was a tendency to form maximum productivity when sowing at the optimal time for the area (20 and 30 of September). There was found that the large productivity of the crop sown in black fallow was ensured by the number of productive stems (up to 596 pcs/m²) and productivity per head (number of kernels per head up to 31.3 pcs., grain weight per head up to 1.42 g). For all forecrops in the variant with a late sowing time, there was a decrease in number of kernels per head (by 6.2–22.9 %) and mass of grain per head (by 1.7–11.7 %) compared with earlier sowing dates. Biochemical analysis has shown that when sown in black fallow and after peas, the yielded grain had the maximum protein percentage on average up to 14.1 % and 13.3 %, respectively. There has been established that the variety 'Zodiak' could form high-quality grain even when it was sown after sunflower (with 12.3–12.6 % of protein and 22.5–23.5 % of gluten). The best economic indicators in the cultivation of the variety 'Zodiak' were obtained when it was sown in black fallow, with up to 191 % of profitability, up to 77993 rubles/ha of conditional net income.

Keywords: winter common wheat, variety 'Zodiak', forecrop, sowing time, yield structure, grain quality, economic efficiency.

Введение. В Ростовской области озимая пшеница традиционно является основной возделываемой сельскохозяйственной культурой. Удельный вес этой культуры в хозяйствах Ростовской области составляет более 50 % посевных площадей, а ее удельный вес в валовых сборах зерна – 80 % и более. В 2022 г. уборочная площадь озимой пшеницы составила 2 млн 904 тыс. га (в 2021-м – 2 млн 872 тыс. га), валовой сбор – 13 млн 334 тыс. т (92 % валового сбора ранних зерновых) при средней урожайности 4,4 т/га.

В различных регионах возделывания научно обоснованное чередование культур в севооборотах позволяет подобрать для озимой пшеницы такие предшественники, которые смогут создать благоприятные условия для роста и развития растений этой культуры и в конечном итоге обеспечить формирование высоких и стабильных урожаев качественного зерна (Макаров и Мамсиоров, 2021).

Поиск и совершенствование оптимальных агротехнических приемов возделывания новых адаптивных сортов озимой пшеницы в конкретных почвенно-климатических условиях является весьма актуальным (Чернова и др., 2020).

Важным агротехническим приемом технологии возделывания озимой пшеницы является срок сева, зависящий от теплообеспеченности и условий увлажнения в течение осенних месяцев вегетации, развития в осенний период, условий перезимовки (Ma et al., 2016; Shahab et al., 2020). В различных регионах оптимальные сроки посева варьируют с конца июля по середину октября, и могут сильно отклоняться в пределах одного региона или даже области (Бирюков и др. 2021).

Отклонение сроков сева от оптимальных сроков приводит к снижению урожайности озимой пшеницы (Ren et al., 2019). При этом посев раньше оптимальных сроков приводит к большему недобору зерна, чем посев после них (Xu et al., 2018).

В связи с этим актуальными и востребованными являются исследования по влиянию сроков посева по различным предшественникам на урожайность новых сортов мягкой озимой пшеницы.

Цель исследований: определить влияние на урожайность и качество зерна сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак таких факторов, как предшественник и срок посева.

Материалы и методы исследований. Исследовался сорт мягкой озимой пшеницы Зодиак (среднеранний, устойчивый к полеганию, высокоурожайный). При проведении опытов предшествующими культурами для сорта Зодиак взяли черный пар (наилучший предшественник), горох на зерно (лучший непаровой предшественник) и подсолнечник (жесткий предшественник, при размещении по которому растения озимой пшеницы могут испытывать дефицит влаги и питательных веществ). Сроки посева – 20 сентября (начало оптимальных сроков для зоны) и 30 сентября (конец оптимальных сроков для зоны). Для выяснения диапазона оптимальных для сорта сроков посева использовали дополнительные варианты сроков – 10 сентября (ранний календарный срок) и 10 октября (поздний календарный срок). Посев проводили с усредненной нормой 5 млн всхожих зерен на 1 га сеялкой СС-11 «Альфа», уборку выполняли прямым способом комбайном Сампо 2010. Площадь делянки 55 м², повторность четырехкратная. Все мероприятия по обработке почвы и уходу за растениями соответствовали зональным системам земледелия Ростовской области (2013–2020 гг.).

Среднесуточная температура воздуха за 2020–2022 сельскохозяйственные годы была в интервале 11,5–12,0 °С, что превышало среднемноголетнюю (9,6 °С) на 1,9–2,4 °С. Сумма осадков за сельскохозяйственные годы составила: 2020 г. – 463,7 мм; 2021 г. – 569,2 мм и 2022 г. – 530,3 мм (норма – 582,4 мм, среднемноголетнее за 45 лет, 1958–2002 гг.). В течение вегетации озимой пшеницы отмечалось не-

равномерное выпадение осадков. Негативное влияние на рост, развитие и величину урожая озимой пшеницы в 2020 сельскохозяйственном году оказал возврат холодов в марте и апреле.

Результаты и их обсуждение. Анализ продуктивности сорта Зодиак по годам показал, что наибольшая урожайность зерна получена в 2022 г. – от 6,76 т/га (предшественник подсолнечник) до 9,70 т/га (предшественник черный пар) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак в зависимости от сроков посева по различным предшественникам, т/га
Table 1. Productivity of the winter common wheat variety 'Zodiak' depending on sowing time after various forecrops, t/ha

Срок посева (фактор В)	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
Предшественник (фактор А) – черный пар				
10 сентября	5,82	8,02	9,25	7,70
20 сентября	6,06	7,84	9,70	7,87
30 сентября	6,23	7,83	9,33	7,80
10 октября	6,44	7,63	8,57	7,55
Предшественник – горох				
10 сентября	3,74	6,34	8,14	6,07
20 сентября	4,15	6,79	8,13	6,35
30 сентября	4,88	6,77	7,48	6,38
10 октября	4,94	6,65	6,66	6,09
Предшественник – подсолнечник				
10 сентября	3,39	6,32	6,76	5,49
20 сентября	3,43	6,68	6,69	5,60
30 сентября	4,15	6,41	6,31	5,63
10 октября	4,18	6,28	5,90	5,45
НСР ₀₅ , т/га	0,22	0,36	0,35	0,31
Влияние фактора А	84,6	83,8	84,4	84,3
Влияние фактора В	12,3	2,0	9,3	7,9
Взаимодействие АВ	1,6	3,5	1,1	2,1

Наименьшая урожайность зерна – 3,39–6,44 т/га была получена в 2020 г., что связано с сильными весенними заморозками, приведшими к гибели наиболее развитых стеблей. Величина урожайности сорта изменялась как по предшественникам, так и срокам посева. Наилучшее развитие имели растения, высеянные в более ранние сроки, – 10, 20 и 30 сентября, поэтому по всем предшественникам отмечена максимальная урожайность именно при посеве 10 октября – поздний срок. Несмотря на поражение заморозками, сорт мягкой озимой пшеницы Зодиак показал высокую урожайность и в среднем превышал показатель урожайности озимой пшеницы по области в 2020 г. (3,65 т/га) на 1,13 т/га, или на 31,0 %.

Урожайность озимой пшеницы сорта Зодиак зависела как от предшественника, так и срока посева, достигая в среднем за годы исследований 5,45–7,87 т/га. После предшественника черный пар сорт формировал максимальную урожайность – 7,55–7,87 т/га. Урожайность по предшественнику горох составила 6,07–6,38 т/га, что ниже на 1,42–1,62 т/га, или на 22,3–26,7 %, чем по черному пару. Урожайность, полученная по предшественнику подсолнечник, была наименьшей и составила 5,45–5,63 т/га, что на 2,10–2,27 т/га, или на 27,8–28,8 %, ниже, чем по предшественнику черный пар. Черный пар как предшественник для озимой пшеницы способствовал формированию дополнительной урожайности,

значительно превышающей уровень НСР в опыте (0,31 т/га). Влияние предшественников на урожайность сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак составило 84,3 %.

В результате проведенных исследований было установлено, что у сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак в среднем за 2020–2022 гг. наблюдалась склонность к формированию наибольшей урожайности при посеве в оптимальные для зоны возделывания сроки (20 и 30 сентября) – от 5,60–5,63 т/га по предшественнику подсолнечник до 7,80–7,87 т/га по предшественнику черный пар. Однако благодаря высокой пластичности сорта доля влияния срока посева на урожайность в среднем не превышала 7,9 %. В физическом выражении разница между сроками посева не превышала 0,32 т/га, что сравнимо с уровнем НСР (0,31 т/га) в опыте.

Урожайность сельскохозяйственных культур формируется из составляющих его элементов структуры, но наибольшим влиянием на урожай обладает именно показатель числа продуктивных стеблей (Сао et al., 2020). В результате анализа структуры полученного урожая в среднем за 2020–2022 гг. было установлено, что урожайность сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак определялась в основном такими показателями, как количество продуктивных стеблей на единицу площади и масса зерна с колоса (табл. 2).

Таблица 2. Показатели структуры урожайности сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак, среднее за 2020–2022 гг.

Table 2. Indicators of the yield structure of the winter common wheat variety 'Zodiak', mean in 2020–2022

Срок посева	Количество		Масса зерна с колоса, г	Высота растений, см	Длина колоса, см
	продуктивных стеблей, шт./ м²	зерен в колосе, шт.			
Предшественник – черный пар					
10 сентября	578	30,1	1,42	87,4	5,8
20 сентября	589	31,3	1,39	90,5	5,8
30 сентября	596	31,2	1,33	89,3	5,8
10 октября	580	27,8	1,28	86,2	5,6
Среднее (M±m)	586±4,2	30,1±0,8	1,35±0,03	88,3±1,0	5,7±0,1
Предшественник – горох					
10 сентября	519	33,3	1,34	81,2	5,7
20 сентября	539	31,9	1,33	83,1	5,6
30 сентября	519	30,1	1,27	84,2	5,3
10 октября	508	27,1	1,20	80,1	5,0
Среднее (M±m)	521±6,5	30,6±1,3	1,29±0,03	82,2±0,9	5,4±0,2
Предшественник – подсолнечник					
10 сентября	495	30,4	1,22	76,8	5,3
20 сентября	488	29,9	1,25	76,4	5,3
30 сентября	476	27,5	1,19	74,7	5,0
10 октября	462	25,9	1,17	73,2	4,6
Среднее (M±m)	480±7,1	28,4±1,1	1,20±0,02	75,3±0,8	5,0±0,2

Максимальное количество продуктивных стеблей было сформировано сортом по предшественнику черный пар, и в зависимости от срока посева составило 578–596 шт./м², что больше, чем по предшественникам горох и подсолнечник, на 50–77 и 83–120 стеблей соответственно. Минимальное количество продуктивных стеблей отмечено по предшественнику подсолнечник – 462–495 шт./м², что было меньше, чем по предшествующей культуре горох, на 24–51 шт./м².

При посеве 20 и 30 сентября по таким предшествующим культурам, как черный пар и горох, у сорта Зодиак отмечено наибольшее количество продуктивных стеблей – 589, 596 и 519, 539 шт./м² соответственно. В вариантах, где использовался достаточно жесткий предшественник – подсолнечник, самое высокое количество продуктивных стеблей отмечено при посеве в ранний календарный срок – 10 сентября (495 шт./м²). Количество продуктивных стеблей постепенно снижалось при посеве в более поздние сроки и достигало минимума (462 шт./м²) при посеве в поздний календарный срок – 10 октября.

Наименьшее количество зерен в колосе – 25,9–30,4 шт. у сорта отмечено по предшественнику подсолнечник. Масса зерна с одного колоса в этом варианте также была минимальной и составила 1,17–1,25 г.

При посеве в ранний календарный срок, 10 сентября, число зерен в колосе достигало максимума по предшественнику горох – 33,3 шт. По таким предшественникам, как черный пар и подсолнечник, число зерен в колосе было практически равным – 30,1 шт. и 30,4 шт. соответственно. Однако при посеве 20 и 30 сентября, а также 10 октября по пред-

шественнику черный пар число зерен в колосе составило 27,8–31,3 шт., что в зависимости от срока посева превысило данный показатель в варианте с предшественником подсолнечник на 1,5–3,8 шт. зерен.

В среднем за годы исследований сорт Зодиак сформировал максимальное число зерен в колосе по предшественнику горох при посеве 10 и 20 сентября – 33,3 шт. и 31,9 шт. соответственно. Тем не менее, максимальная масса зерна с колоса – 1,28–1,42 г в среднем за годы исследований была сформирована при посеве сорта после черного пара, а в вариантах с предшественником горох были получены промежуточные значения этого показателя – 1,20–1,34 г.

По всем предшественникам в варианте с поздним сроком посева отмечается снижение количества зерен в колосе (на 6,2–22,9 %) и массы зерна с колоса (на 1,7–11,7 %) в сравнении с более ранними сроками посева.

Максимальная высота растений и длина колоса отмечены при возделывании изучаемого сорта после черного пара – 86,2–90,5 см и 5,6–5,8 см соответственно, а по предшественнику подсолнечник эти показатели были наименьшими – 73,2–76,8 см и 4,6–5,3 см. Отмечено уменьшение длины колоса при посеве сорта в более поздние сроки. Несмотря на значительную высоту растений, за все годы исследований полегания стеблей не наблюдалось.

Сорт мягкой озимой пшеницы Зодиак отличался высокими качественными показателями по всем изучаемым предшественникам. Содержание белка и клейковины в зерне даже после подсолнечника в среднем за годы исследований составило 12,4 и 23,0 %, что соответствует 3 классу по качеству. При посеве по предшественникам черный пар и горох полученное

зерно имело максимальное содержание белка – в среднем до 14,1 и 13,3 % соответственно. Зерно характеризовалось также высоким содержанием клейковины – до 27,2 и 26,6 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3. Качественные показатели зерна озимой мягкой пшеницы, среднее за 2020–2022 гг.
Table 3. Grain quality indicators of winter common wheat, mean in 2020–2022

Срок посева	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г	Содержание в зерне, %	
			белок	клейковина
Предшественник – черный пар				
10 сентября	775	42,7	14,0	27,2
20 сентября	779	43,4	14,1	27,0
30 сентября	784	43,5	14,2	27,4
10 октября	781	40,3	14,0	27,0
Среднее (M±m)	780±1,9	42,5±0,7	14,1±0,1	27,2±0,1
Предшественник – горох				
10 сентября	748	42,9	13,4	26,7
20 сентября	748	43,0	13,4	26,6
30 сентября	767	42,4	13,3	26,5
10 октября	769	39,9	13,2	26,7
Среднее (M±m)	758±5,8	42,1±0,7	13,3±0,1	26,6±0,1
Предшественник – подсолнечник				
10 сентября	756	41,0	12,6	23,5
20 сентября	767	40,7	12,4	23,0
30 сентября	772	40,2	12,4	22,9
10 октября	770	39,2	12,3	22,5
Среднее (M±m)	766±3.6	40.3±0.4	12.4±0.1	23.0±0.2

Основное влияние на натуру зерна, массу 1000 зерен, содержание в зерне белка и клейковины сорта озимой мягкой пшеницы Зодиак оказывали предшественники и, незначительно, сроки посева. Лишь при посеве по наиболее жесткому предшественнику – подсолнечнику заметна тенденция к снижению содержания белка и клейковины в зерне от раннего срока посева к более позднему (содержание белка снижалось с 12,6 до 12,3 %, а клейковины – с 23,5 до 22,5 %).

Масса 1000 зерен снижалась, а натура зерна имела тенденцию к увеличению при посеве в поздние сроки.

Эффективность возделывания сорта Зодиак определялась в первую очередь его урожайностью по различным предшественникам. При посеве после черного пара у сорта были максимальными урожайность зерна и рентабельность его производства – 180–191 % (табл. 4).

Таблица 4. Экономическая эффективность возделывания сорта мягкой озимой пшеницы Зодиак, среднее за 2020–2022 гг.
Table 4. Economic cultivation efficiency of the winter common wheat variety 'Zodiak', mean in 2020–2022

Срок посева	Урожайность, т/га	Затраты, руб./га	Валовой доход, руб./га	Условный чистый доход, руб./га	Себестоимость, руб./т	Рентабельность, %
Предшественник – черный пар						
10 сентября	7,70	41317	117774	76457	5367	185
20 сентября	7,87	41317	120336	79019	5253	191
30 сентября	7,80	41317	119309	77993	5298	189
10 октября	7,55	41317	115493	74176	5473	180
Предшественник – горох						
10 сентября	6,07	34631	87678	53047	5701	153
20 сентября	6,35	34631	91718	57086	5450	165
30 сентября	6,38	34631	92039	57407	5431	166
10 октября	6,09	34631	87838	53207	5690	154
Предшественник – подсолнечник						
10 сентября	5,49	31510	79027	47518	5742	151
20 сентября	5,60	31510	80628	49118	5628	156
30 сентября	5,63	31510	81007	49497	5601	157
10 октября	5,45	31510	78500	46991	5780	149

По предшественнику черный пар условный чистый доход (74176–79019 руб./га) был выше, чем после гороха и подсолнечника в зависимости от срока посева, на 20 585–23 411 и 27 185–29 901 руб./га соответственно. После гороха и подсолнечника рентабельность производства зерна сорта Зодиак составила 153–166 и 149–157 % соответственно.

При посеве 20 и 30 сентября в среднем за годы исследований была получена максимальная урожайность, превышающая урожайность (до 0,31 т/га), сформированную сортом как при посеве 10 сентября, так и 10 октября.

Условный чистый доход, полученный у сорта при посеве 20 и 30 сентября, был выше, чем по другим срокам посева: по предшественнику подсолнечник – на 1600–2506 руб./га, по предшественнику черный пар – на 1535–4843 руб./га и по предшественнику горох – на 3880–4361 руб./га.

Выводы. Сорт мягкой озимой пшеницы Зодиак отличается высокой урожайностью (до 9,70 т/га) и пластичностью по отношению к срокам посева, однако наблюдается тенденция, при которой максимальная продуктивность формируется при посеве в оптимальные для зоны сроки (20 и 30 сентября). Сорт Зодиак, даже по предшественнику подсолнечник, способен давать продукцию с высоким качеством – не ниже 3 класса (содержание белка и клейковины в зерне – до 12,4 и 23,0 % соответственно). Благодаря высокой урожайности и качеству зерна возделывание сорта является экономически эффективным и обеспечивает получение условного чистого дохода: по предшественнику черный пар – 79019 руб./га, по предшественнику горох – 57407 руб./га и по предшественнику подсолнечник – 49497 руб./га.

Библиографические ссылки

1. Бирюков К. Н., Фоменко М. А., Бирюкова О. В., Ляшков И. В. Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность новых сортов озимой пшеницы при усилении флуктуации климата // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3(89). С. 47–52. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-47-52>.
2. Макаров А. А., Мамси́ров Н. И. Влияние предшественников на продуктивность сортов озимой пшеницы // Новые технологии. 2021. № 17(2). С. 84–92. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-84-92.
3. Чернова В. Л., Подгорный С. В., Скрипка О. В. Урожайность и параметры адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в условиях южной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5. С. 21–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-21-25.
4. 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.
5. 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.
6. Ren A., Sun M., Wang P., Xue L., Lei M., Xue J., Gao Z., Yang Z. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18(1), P. 33–42. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61980-X.
7. Shahab F., Coulter J. A., Ye C., Wu W. Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate // European Journal of Agronomy. 2020. Vol. 119, Article number: 126120. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126120.
8. Xu H., Dai X., Chu J., Wang Y., Yin L., Ma X., Dong S., He M. Integrated management strategy for improving the grain yield and nitrogen-use efficiency of winter wheat // Journal of Integrative Agriculture. 2018. Vol. 17(2), P. 315–327. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61805-7.

References

1. Biryukov K. N., Fomenko M. A., Biryukova O. V., Lyashkov I. V. Vliyaniye elementov tekhnologii vozdelyvaniya na produktivnost' novykh sortov ozimoi pshenitsy pri usilenii fluktuatsii klimata [Influence of cultivation technology elements on productivity of new winter wheat varieties under increased climate fluctuations] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 3(89). S. 47–52. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-47-52.
2. Makarov A. A., Mamsirov N. I. Vliyaniye predshestvennikov na produktivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Effect of forecrops on productivity of winter wheat varieties] // Novye tekhnologii. 2021. № 17(2). S. 84–92. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-2-84-92.
3. Chernova V. L., Podgornyi S. V., Skripka O. V. Urozhainost' i parametry adaptivnosti sortov ozimoi myagkoi pshenitsy seleksii FGBNU «ANTs «Donskoi» v usloviyakh yuzhnoi zony Rostovskoi oblasti [Productivity and adaptability parameters of the winter bread wheat varieties developed by the FSBSI Agricultral Research Center "Donskoy" in the conditions of the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 5. S. 21–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-21-25.
4. 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.
5. 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.

6. Ren A., Sun M., Wang P., Xue L., Lei M., Xue J., Gao Z., Yang Z. Optimization of sowing date and seeding rate for high winter wheat yield based on pre-winter plant development and soil water usage in the Loess Plateau, China // *Journal of Integrative Agriculture*. 2019. Vol. 18(1), P. 33–42. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)61980-X.
7. Shahab F., Coulter J.A., Ye C., Wu W. Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate // *European Journal of Agronomy*. 2020. Vol. 119, Article number: 126120. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126120.
8. Xu H., Dai X., Chu J., Wang Y., Yin L., Ma X., Dong S., He M. Integrated management strategy for improving the grain yield and nitrogen-use efficiency of winter wheat // *Journal of Integrative Agriculture*. 2018. Vol. 17(2), P. 315–327. DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61805-7.

Поступила: 19.01.23; доработана после рецензирования: 10.03.23; принята к публикации: 10.03.23.

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. Марченко Д. М. – концептуализация исследований; Попов А. С. – концептуализация исследований, критический анализ текста; Овсянникова Г. В. – анализ литературных источников, подготовка рукописи; Сухарев А. А. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Копман И. К. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Фетюхин И. В. – финальная доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРА РОСТА НА ПОСЕВЫ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ ТЕРСКО-СУЛАКСКОЙ ПОДПРОВИНЦИИ ДАГЕСТАНА

Н. Р. Магомедов, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией семеноводства зерновых и кормовых культур, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4391-3321;

А. А. Абдуллаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства и кормопроизводства, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7653-7531;

Ж. Н. Абдуллаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства и кормопроизводства, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9389-647X;

Т. Т. Бабаев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий опытным полем, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3243-3367

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан»,

367014, г. Махачкала, мкр. Научный городок, ул. А. Шахбанова, д. 30; e-mail: niva1956@mail.ru

Исследования проводили с целью определения влияния минеральных и органоминеральных удобрений, а также регулятора роста на урожайность перспективных сортов озимой твердой пшеницы в условиях орошения лугово-каштановой тяжелосуглинистой почвы Терско-Сулакской подпровинции Дагестана. В 2019–2021 гг. на опытном поле были заложены два полевых опыта. В первом случае изучали четыре варианта влияния удобрений на продуктивность перспективных сортов Крупинка (контроль), Круча, Одари в условиях орошения: аммофос, 65 кг/га в д. в. под пахоту, фон; (фон) аммофос, 65 кг/га в д. в. под пахоту + Полидон Био Универсальный, 0,5 л/га в фазе кущения + Полидон Био Универсальный, 0,5 л/га в фазе колошения; (фон) аммофос, 65 кг/га в д. в. под пахоту + аммиачная селитра 150 кг/га в весеннее кущение + Полидон Био Универсальный 0,5 л/га в фазе кущения + Полидон Био Универсальный 0,5 л/га в фазе колошения; (фон) аммофос 65 кг/га в д. в. под пахоту + аммиачная селитра 150 кг/га в весеннее кущение. Во втором – влияние регулятора роста на продуктивность трех сортов озимой твердой пшеницы. Семена обрабатывали перед посевом Спринталгой – 0,5 л/т и проводили листовую подкормку в фазе весеннего кущения в сравнении с контролем – обработка семян рабочей жидкостью – протравителем Максим КС – 10 л/т. Проведенные исследования показали, что наибольшая урожайность изучаемых сортов озимой твердой пшеницы достигнута в третьем варианте опыта, где урожайность зерна 8,36 т/га достигнута по сорту Одари, на втором месте по урожайности сорт Круча – 7,91 т/га, что на 0,27 т/га больше, чем на контроле (сорт Крупинка), и на 0,45 т/га меньше, чем у сорта Одари. Исследования с использованием регулятора роста показали существенное его влияние на повышение урожайности зерна. Обработка семян сортов озимой твердой пшеницы и посевов в фазе кущения Спринталгой оказывала положительное влияние на рост, развитие и повышение урожайности зерна. В среднем за годы проведения исследований наибольший урожай зерна (7,88 т/га) достигнут по сорту Одари в варианте обработки семян и посевов регулятором роста Спринталга. Разница по урожайности между семенами, обработанными Спринталгой и обработанными рабочей жидкостью – протравителем Максим КС, составила: по сорту Одари – 0,67 т/га, Круча – 0,71 и Крупинка – 0,79 т/га.

Ключевые слова: сорта, твердая пшеница, аммофос, аммиачная селитра, Полидон Био Универсальный, Спринталга, урожайность.

Для цитирования: Магомедов Н. Р., Абдуллаев А. А., Абдуллаев Ж. Н., Бабаев Т. Т. Влияние органоминеральных удобрений и регулятора роста на посевы озимой твердой пшеницы в условиях орошения Терско-Сулакской подпровинции Дагестана // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 99–106. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-99-106.



EFFECT OF ORGANIC MINERAL FERTILIZERS AND GROWTH REGULATOR ON WINTER DURUM WHEAT CROPS UNDER IRRIGATION CONDITIONS IN THE TEREK-SULAK SUBPROVINCE OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN

N. R. Magomedov, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for seed production of grain and fodder crops, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4391-3321;

A. A. Abdullaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for seed production of grain and fodder crops, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7653-7531;

Zh. N. Abdullaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for seed production of grain and fodder crops, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9389-647X;

T. T. Babaev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the experimental plots, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3243-3367

FGBSI "Federal Agrarian Research Center of the Republic of Dagestan",

367014, Makhachkala, Nauchny Gorodok, A. Shakhbanov Str., 30; e-mail: niva1956@mail.ru

The current study has been carried out to determine the effect of mineral and organic mineral fertilizers, as well as a growth regulator on the productivity of promising winter durum wheat varieties, under irrigation conditions of meadow-chestnut heavy loamy soil in the Terek-Sulak subprovince of the Republic of Dagestan. In 2019–2021 there were laid on two trials on the experimental plot. In the first case, there were studied four variants of the effect of fertilizers on the productivity of promising varieties 'Krupinka' (control), 'Krucha', 'Odari' under irrigation conditions. There was used ammophos (background), 65 kg/ha a.i. under plowing; ammophos (background), 65 kg/ha a.i. for plowing + Polydon bio universal, 0.5 l/ha in the tillering phase + Polydon bio universal, 0.5 l/ha in the earing phase; ammophos (background), 65 kg/ha a.i. under arable land + ammonium nitrate 150 kg/ha in spring tillering + Polydon bio universal 0.5 l/ha in the tillering phase + Polydon bio universal 0.5 l/ha in the earing phase; ammophos (background), 65 kg/ha a.i. for plowing + ammonium nitrate 150 kg/ha in spring tillering. In the second, three winter durum wheat varieties were treated before sowing with 0.5 l/t of Sprintalga and foliar top dressing was carried out in the spring tillering phase, in comparison with the control when seeds were treated with 10 l/t of the working liquid disinfectant Maxim KS. The conducted study has shown that the largest productivity of the studied winter durum wheat varieties was achieved in the third variant of the trial, where grain productivity of 8.36 t/ha was achieved for the variety 'Odari', the variety 'Krucha' was in second place with 7.91 t/ha of productivity, which was on 0.27 t/ha more than for the control variety 'Krupinka' and on 0.45 t/ha less than in the variety 'Odari'. The use of a growth regulator has shown its significant effect on the grain productivity improvement. Seed treatment of winter durum wheat varieties and crops in the tillering phase with Sprintalgi had a positive effect on the growth, development, and improvement of grain yield. On average, over the years of research, the largest grain yield of 7.88 t / ha was obtained for the variety 'Odari', in the variant of seed and crop treatment with a growth regulator Sprintalgi. The productivity difference in the variant with seed treatment with Sprintalgi and with the working liquid treater Maxim KS was 0.67 t/ha for the variety 'Odari', 0.71 t/ha for 'Krucha' and 0.79 t/ha for 'Krupinka'.

Keywords: varieties, durum wheat, ammophos, ammonium nitrate, Polydon bio universal, Sprintalgi, productivity.

Введение. Озимая пшеница – одна из основных зерновых культур, повышение урожайности которой является основой продовольственной безопасности страны (Воронов и др., 2020). Применение органоминеральных препаратов и биостимуляторов роста – один из вариантов усиления роста и развития растений, улучшения продуктивности и качества зерна озимой пшеницы, также они обладают антистрессовыми свойствами и защитными действиями (Балашов и Агафонов, 2013),

По своему биоклиматическому потенциалу Северный Кавказ, в том числе и Дагестан, является зоной получения качественного зерна пшеницы. Почвенно-климатические условия позволяют выращивать там озимые зерновые культуры, в частности озимую пшеницу, с урожайностью в 2–3 раза выше, чем яровой пшеницы (Магомедов и др., 2016).

В Краснодарском крае в Национальном центре зерна имени П.П. Лукьяненко были выведены перспективные сорта озимой твердой пшеницы, которые нашли широкое распространение не только в республиках Северного Кавказа, но и далеко за его пределами (Дубинина и Вождова, 2016).

Значительным шагом вперед в повышении культуры земледелия стало внедрение в Республике Дагестан новых перспективных сортов озимой твердой пшеницы. Это такие сорта, как Алена, Крупинка, Кермен, Золотко, Уния и др. Они отличаются высокой урожайностью, короткостебельностью и не полегают. Наиболее продуктивным среди новых сортов оказалась Крупинка (Магомедов и др., 2021).

Увеличение производства зерна с выведением и внедрением новых сортов требует новых подходов к агротехническим и ор-

ганизационным вопросам для условий роста и развития растений. В связи с этим применение удобрений как отдельно, так и в сочетании с органоминеральными удобрениями позволяет повысить урожайность зерна и благоприятно влияет на показатели технологических качеств зерна (Журавлева и др., 2020, Rut-Duga et al., 2019). Поэтому в своих исследованиях мы изучали влияние органоминеральных удобрений и регулятора роста на продуктивность новых перспективных сортов озимой твердой пшеницы в Терско-Сулакской подпровинции Дагестана в условиях орошения.

Материалы и методы исследований. Экспериментальные исследования проводили на лугово-каштановой тяжелосуглинистой почве опытной станции им. Кирова – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» на сортах озимой твердой пшеницы сортов Крупинка, Круча и Одари, селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». В первом отделении опытной станции были заложены два полевых опыта. Предшественник подсолнечник, площадь деланки 115 м², учетной – 100 м², повторность четырехкратная, расположение деланок систематическое.

Опыт № 1. Выявление влияния минеральных и органоминеральных удобрений на продуктивность озимой твердой пшеницы сортов Крупинка (контроль), Круча, Одари в условиях орошения. Схема полевого эксперимента включала следующие варианты (см. рис.)

Полидон Био Универсальный – жидкое органоминеральное удобрение. Состав с высоким содержанием макро-, мезо- и микроэлементов в лигносульфонатном комплексе. При расходе рабочего раствора 100–300 л дозировка 0,5–1 л/га. Применяется на целевых сельскохо-

зяйственных культурах в критические периоды роста и развития, особенно рекомендуется при следующих факторах: низкое содержание микроэлементов в почве; холодный период

вегетации; риски засухи; негативные почвенно-климатические условия; неподходящий предшественник; пестицидный стресс.

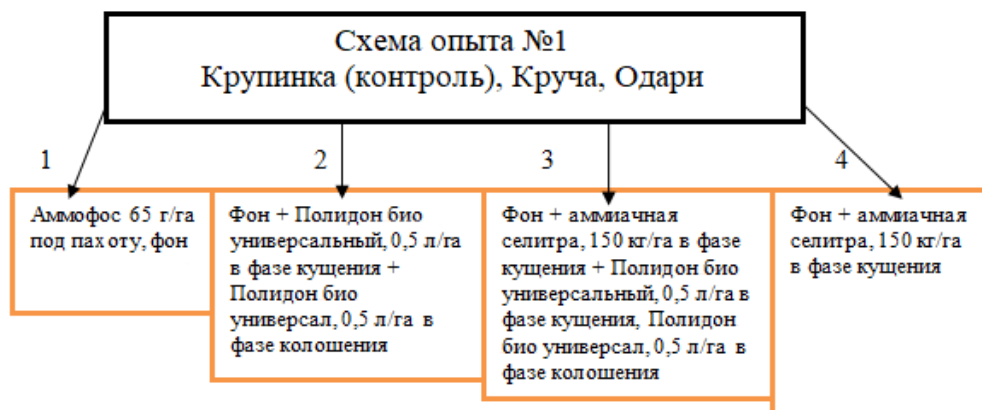


Схема полевого опыта № 1
Field Experience Diagram № 1

Опыт № 2. Определение влияния регулятора роста Спринталга на продуктивность сортов Крупинка, Круча, Одари в условиях орошения. Семена обработали перед посевом Спринталгой – 0,5 л/т совместно с протравителем Максим КС, расход рабочей жидкости – 10 л/т. И проводили листовую подкормку в фазе весеннего кушения – норма расхода препарата – 2,5 л/га, расход воды на 1 га – 250 л, в сравнении с контролем – обработка простым водным раствором.

Спринталга (sprintalga) – профессиональный органоминеральный, биостимулятор корнеобразования на основе экстракта морских водорослей (72 %) и комплекса аминокислот. Он обеспечивает высокую полевую всхожесть и энергию прорастания семян, стимулирует развитие полноценной корневой системы и усиливает рост вегетативной массы.

Применение биостимуляторов и стимуляторов роста в сельском хозяйстве при малых дозах способно влиять на рост и процессы метаболизма в растениях, при этом применение препаратов рассматривается как способ экологически чистый и экономически эффективный, способствующий полной реализации возможностей озимой пшеницы (Колесников и др., 2020).

Исследования по всем поставленным вопросам проводили лабораторно-полевым методом на основе методических положений: «Моделирование зональных систем земледелия на основе полевых экспериментов» (Киришин и др., 1990) и «Методика полевого опыта» (Доспехов, 2014). Обработку почвы выполняли согласно зональным рекомендациям. В нее входило: дискование почвы на глубину 8–10 см сразу после уборки предшественника (подсолнечник), вспашка с боронованием на глубину 20–22 см, поверхностное выравнивание (МВ-6), нарезка временных оросителей, влагозарядковый полив (1200–1300 м³/га), предпосевная культивация с боронованием.

Обработка почвы также оказывает значительное влияние на количество и качество зерна (Solodovnikov et al., 2018).

Почва экспериментального участка светло-каштановая тяжелосуглинистая. По содержанию NO_3 (4,5–5,0 мг/100 г) и P_2O_5 (1,5–2,0 мг/100 г) она относится к 3 классу, K_2O (33,8–35,1 мг/100 г) – к 4 классу обеспеченности. Динамику водно-физических и агрохимических свойств почвы проводили по общепринятым методикам (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 2019). По данным площади листовой поверхности и продолжительности прохождения каждой фазы определяли динамику формирования фотосинтетического потенциала, а по данным накопления органической массы – чистую продуктивность фотосинтеза растений (Никитин, 2017).

Климат территории характеризуется как засушливый. Годовое количество осадков составляет 460 мм, из которых 51,6 % выпадает в период вегетации.

Температурные условия в основном соответствовали многолетним показателям, температура воздуха в январе в среднем составляет 5 °С, в июле 28 °С.

Посев проводили рядовым способом сеялкой СЗ-3,6 в оптимальные для зоны сроки – в первой декаде октября, норма высева – 5,0 млн семян на 1 га, глубина заделки семян – 5–6 см.

Влажность почвы в течение вегетационного периода поддерживалась на уровне не ниже 70–75 % НВ. Для этого, кроме влагозарядкового, проводили два вегетационных полива нормой по 800 м³/га в фазах выхода в трубку и колошения. В фазе кушения, до выхода растений в трубку, проводили обработку против сорняков гербицидом Примадонна – 0,6 л/га.

Крупинка: пшеница твердая озимая, год включения в реестр допущенных – 2005-й.

Регион допуска – Северо-Кавказский. Родословная – из гибридной популяции Леукурум 1252 h 33 x Алый парус. Максимальная урожайность – 91,4 ц/га, получена в Ростовской области в 2004 году. Среднеспелый сорт, вегетационный период 233–290 дней. Засухоустойчивость – на 0,5–1,0 балла выше, чем у стандартов. Макароны качества удовлетворительные.

Круча: пшеница твердая озимая, год включения – 2015-й. Регион допуска – Северо-Кавказский. Родословная – Леукурум 1848 h 8 x Карат. Группа спелости – среднеранний сорт, морозостойкость на уровне стандарта, засухоустойчивость высокая, устойчивость к полеганию уступает стандарту. Максимальная урожайность – 76,4 ц/га, получена в Ставропольском крае в 2014 году. Главная цель использования – получение зерна для производства макаронно-крупяных изделий.

Одари: пшеница твердая озимая, год включения – 2017-й. Разновидность – leucurum. Регион допуска – Северо-Кавказский. Группа спелости – среднеспелый сорт, морозостойкость и засухоустойчивость на уровне стандарта, устойчив к полеганию. Максимальная урожайность – 74,6 ц/га, получена в Ставропольском крае в 2016 году. Цель использования: получение зерна для изготовления высококачественных макаронно-крупяных изделий.

Результаты и их обсуждение. В засушливых условиях юга России основным фак-

тором, влияющим на продуктивность озимой пшеницы, является влагообеспеченность почвы. Предпосевной влагозарядковый полив обеспечивает почву необходимой влагой и провоцирует прорастание основной массы сорняков, которые уничтожаются предпосевными обработками. Поэтому влажность почвы перед посевом изучаемых сортов озимой твердой пшеницы была благоприятной для получения полноценных всходов. Разница по влажности почвы отмечена при определении в начале весенней вегетации, где она в слое почвы 0–10 см была на 1,6 % выше по сравнению с ее содержанием перед посевом, в слое 10–20 см – на 1,1 %, а в слое почвы 20–60 см – ниже на 0,6 %.

Важным показателем эффективности использования посевов воды, поступившей на поле в виде осадков или поливов, является коэффициент водопотребления, который показывает расход воды на создание единицы зерна (Аксенова и Бойко, 2017). В наших исследованиях лучшие показатели по эффективности коэффициента водопотребления достигнуты по сорту Одари, где на производство 1 т зерна расходуется, в среднем 734,3 м³ воды при 772,6 м³ воды на 1 т зерна у сорта Круча и 804,2 м³ воды на контроле, сорт Крупинка, что на 69,9 м³ воды на 1 т зерна больше, чем по сорту Одари, и на 31,6 м³ воды больше, чем по сорту Круча (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициент водопотребления сортов озимой твердой пшеницы, среднее за 2019–2021 гг.

Table 1. Water consumption coefficient of the winter durum wheat varieties, mean in 2019–2021

Сорт	Год	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т зерна
Крупинка, контроль	2019	5540	6,47	856,3
	2020	5649	7,15	790,1
	2021	5854	7,64	766,2
	Среднее	5681	7,09	804,2
Круча	2019	5540	6,77	818,3
	2020	5649	7,44	759,3
	2021	5854	7,91	740,1
	Среднее	5681	7,37	772,6
Одари	2019	5540	7,05	785,8
	2020	5649	7,88	716,9
	2021	5854	8,36	700,2
	Среднее	5681	7,76	734,3

В условиях орошения лучшие показатели фотосинтетической деятельности посевов равнинной зоны Дагестана достигаются в вариантах формирования наибольшей площади листовой поверхности. В фазе колошения в условиях орошения были достигнуты наиболее высокие показатели ассимилирующей поверхности листьев – 60,8 тыс. м²/га. Наибольшая площадь листовой поверхности –

57,8 тыс. м²/га, фотосинтетического потенциала посевов – 2,43 млн м²/га, дней и чистой продуктивности фотосинтеза – 5,4 г/м² сутки наблюдались у сорта Одари при внесении под пахоту 65 кг/га в д. в. аммофоса, 150 кг/га аммиачной селитры в весеннее кушение, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе кушения, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе колошения (табл. 2).

Таблица 2. Фотосинтетическая деятельность посевов сортов озимой твердой пшеницы при различных уровнях органоминерального питания, среднее за 2019–2021 гг.
Table 2. Photosynthetic activity of the winter durum wheat crops at various levels of organic mineral nutrition, mean in 2019–2021

Сорт	Уровень питания	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	Фотосинтетический потенциал посевов, млн м ² /га, дн.	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² , сутки
Крупинка (контроль)	Первый	40,3	1,65	3,6
Круча		42,6	1,72	4,2
Одари		45,4	1,86	4,7
Крупинка (контроль)	Второй	42,8	1,74	3,8
Круча		43,5	1,86	4,5
Одари		47,6	1,93	4,8
Крупинка (контроль)	Третий	48,4	1,88	4,6
Круча		52,7	2,14	5,0
Одари		57,8	2,43	5,4
Крупинка (контроль)	Четвертый	42,3	1,72	3,8
Круча		43,6	1,82	4,2
Одари		47,5	1,95	4,8

По урожайности наибольший показатель из сортов озимой твердой пшеницы достигнут в третьем варианте опыта при внесении под пахоту 65 кг/га в д. в. аммофоса, 150 кг/га аммиачной селитры в весеннее кушение, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе кушения, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе колошения. Максимальная урожайность зерна – 8,36 т/га достигнута по сорту Одари,

на втором месте по продуктивности сорт Круча – 7,91 т/га, что на 0,27 т/га больше, чем на контроле (сорт Крупинка), и на 0,45 т/га меньше, чем у сорта Одари.

На контрольном варианте урожайность зерна сорта Крупинка, как было отмечено выше, была меньше, чем по двум другим сортам (табл. 3).

Таблица 3. Влияние минерального и органоминерального питания на урожайность сортов озимой твердой пшеницы, т/га
Table 3. Effect of mineral and organic mineral nutrition on productivity of the winter durum wheat varieties, t/ha

Уровень питания (фактор А)	Сорт (фактор В)	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Первый	Крупинка (контроль)	6,21	6,53	6,68	6,47
	Круча	6,47	6,89	6,94	6,77
	Одари	6,72	7,17	7,26	7,05
Второй	Крупинка (контроль)	6,91	7,22	7,34	7,15
	Круча	7,19	7,53	7,71	7,44
	Одари	7,62	7,87	7,16	7,88
Третий	Крупинка (контроль)	7,44	7,65	7,82	7,64
	Круча	7,73	7,86	8,14	7,91
	Одари	8,14	8,32	8,63	8,36
Четвертый	Крупинка (контроль)	6,59	6,72	6,98	6,76
	Круча	6,93	7,21	7,35	7,16
	Одари	7,31	7,34	7,72	7,46
НСР ₀₅ Фактор А		0,32	0,38	0,41	–
НСР ₀₅ Фактор В		0,18	0,20	0,21	–

Критерий $НСР_{05} = t_{05} S_d$ указывает предельную ошибку для разности двух выборочных средних. Разница между сортами Одари и Крупинка (контроль) существенна. Разница в оптимальном (третьем) варианте между сортами Одари и Крупинка за 2019 г. составляет 0,7 т/га, а $НСР_{05} = 0,32$ т/га, что меньше, чем разность между вариантами. Если разность $d \geq НСР_{05}$, то различия между вариантами существенны, при $d \leq НСР_{05}$ – несущественны.

Максимальное количество продуктивных стеблей на единицу площади – 366 и 364 шт./1 м² было отмечено по сортам Крупинка и Одари на третьем уровне минерального питания

при внесении 65 кг/га в д. в. аммофоса под пахоту, проведении подкормки аммиачной селитрой 150 кг/га в весеннее кушение и внесении 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе кушения, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе колошения. В среднем за 2019–2021 гг. количество продуктивных стеблей на этом уровне минерального питания у сорта Круча составило 353 шт./м², а у сорта Крупинка (контроль) – 366 растений, что на 2 шт./м² больше, чем у сорта Одари, и на 13 шт./м² больше, чем у сорта Круча.

Коэффициент продуктивной кустистости такой же, как у сорта Одари, – 1,20, масса зерна

с 1 колоса 2,09 г. против 2,30 и масса 1000 зерен 46,4 г. против 51,1 г. у сорта Одари. Сорт Круча занимал промежуточное между Крупинкой и Одари положение (табл. 4).

Таблица 4. Структура урожая сортов озимой твердой пшеницы в зависимости от органоминерального питания, (среднее за 2019–2021 гг.)
Table 4. Yield structure of the winter durum wheat varieties depending on organic mineral nutrition, mean in 2019–2021

Уровень питания	Сорт	Количество растений на 1 м ²	Количество продуктивных стеблей на 1 м ²	Коэффициент продуктивной кустистости	Масса зерна с 1 колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Первый	Крупинка (контроль)	298	322	1,08	2,01	44,7
	Круча	307	319	1,04	2,12	47,1
	Одари	307	328	1,07	2,15	47,8
Второй	Крупинка (контроль)	302	349	1,15	2,05	45,2
	Круча	307	343	1,12	2,17	48,2
	Одари	312	353	1,13	2,23	49,5
Третий	Крупинка (контроль)	305	366	1,20	2,09	46,4
	Круча	301	353	1,17	2,24	49,8
	Одари	302	364	1,20	2,30	51,1
Четвертый	Крупинка (контроль)	307	328	1,07	2,06	45,8
	Круча	302	325	1,08	2,20	48,9
	Одари	304	332	1,09	2,25	50,0

Наименьшее количество продуктивных стеблей формировалось на первом уровне минерального питания с внесением только 65 кг/га аммофоса, а подкормки не проводились, где в среднем за 2019–2021 гг. у сорта Крупинка на 1 м² формировалось 322 шт./м² продуктивных стеблей, у сорта Круча их было на 3 шт./м² меньше, а у сорта Одари – на 6 шт./м² больше, чем в контрольном варианте.

Исследования с использованием регулятора роста показали существенное его влияние на повышение урожайности зерна. Обработка семян сортов озимой твердой пше-

ницы перед посевом и посевов в фазе кущения Спринталгой оказывала положительное влияние на рост, развитие и повышение урожайности зерна изучаемых сортов озимой твердой пшеницы. В среднем за годы проведения исследований наибольший урожай зерна – 7,88 т/га достигнут по сорту Одари в варианте обработки семян перед посевом и посевов в фазе кущения регулятором роста Спринталгой. Разница по урожайности между обработанными Спринталгой и простым водным раствором составила: по сорту Одари – 0,67 т/га, Круча – 0,71 и Крупинка – 0,79 т/га (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность сортов озимой твердой пшеницы в зависимости от обработки регулятором роста, т/га
Table 5. Productivity of the winter durum wheat varieties depending on the treatment with a growth regulator, t/ha

Сорта	Использование регулятора роста	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
Крупинка (контроль)	Без обработки	6,34	6,78	6,86	6,66
	С обработкой	7,06	7,50	7,78	7,45
Круча	Без обработки	6,61	6,93	7,22	6,92
	С обработкой	7,33	7,61	7,94	7,63
Одари	Без обработки	6,88	7,26	7,49	7,21
	С обработкой	7,52	7,88	8,25	7,88
НСР ₀₅		0,17	0,18	0,19	0,18

Анализ структуры урожая зерна сортов озимой твердой пшеницы показывает, что обработка семян регулятором роста перед посевом и в фазе кущения способствовала значительному повышению массы зерна с одного колоса и массы 1000 зерен. Из изучаемых сортов лучшие показатели по массе зерна одного колоса (2,35 г) и по массе 1000 зерен (48,6 г) достигнуты по сорту Одари в варианте обра-

ботки семян Спринталгой, что соответственно на 0,18 и на 2,6 г больше, чем в варианте обработки посевов чистым водным раствором. На контрольном варианте (сорт Крупинка): в варианте без обработки масса зерна с одного колоса – 2,00 г, масса 1000 зерен – 42,1 г, а в варианте с обработкой Спринталгой – 2,23 и 43,4 г соответственно, что на 0,23 и 1,3 г больше (табл. 6).

Таблица 6. Структура урожая зерна сортов озимой твердой пшеницы в зависимости от обработки регулятором роста, среднее за 2019–2021 гг.
Table 6. Grain yield structure of the winter durum wheat varieties depending on the treatment with a growth regulator, mean in 2019–2021

Сорт	Использование регулятора роста	Количество растений шт./м ²	Количество продуктивных стеблей шт./м ²	Коэффициент продуктивной кустистости	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Крупинка	Без обработки	274	333	1,21	2,00	42,1
	С обработкой	278	334	1,20	2,23	43,4
Круча	Без обработки	273	332	1,21	2,08	43,5
	С обработкой	276	335	1,22	2,28	44,6
Одари	Без обработки	272	332	1,22	2,17	46,0
	С обработкой	277	335	1,21	2,35	48,6

Во втором опыте наибольшее количество продуктивных стеблей – 335 шт./м² в среднем за годы проведения исследований отмечено по сорту Одари и Круча в варианте обработки семян и посевов регулятором роста Спринталга, против 334 шт./м² по сорту Крупинка – контроль.

Выводы. Исследования показали, что максимальная площадь листовой поверхности – 57,8 тыс. м²/га, фотосинтетический потенциал посевов – 2,43 млн м²/га дн. и чистая продуктивность фотосинтеза – 5,4 г/м² сут. достигнуты по сорту Одари на третьем уровне минерального питания при внесении под пахоту 65 кг/га в д. в. аммофоса, 150 кг/га аммиачной селитры в весеннее кушение, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе кушения, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе колошения. В других вариантах показатели фотосинтетической деятельности были ниже.

Наибольшая урожайность озимой твердой пшеницы – 8,36 т/га в среднем за 2019–2021 гг.

была достигнута на третьем уровне минерального питания по сорту Одари при внесении под пахоту 65 кг/га в д. в. аммофоса, 150 кг/га аммиачной селитры в весеннее кушение, 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе кушения и 0,5 л/га Полидона Био Универсального в фазе колошения, что на 0,72 т/га больше, чем на контроле (сорт Крупинка), и на 0,45 т/га больше, чем у сорта Круча.

На втором месте по своей продуктивности оказался сорт Круча, который обеспечил урожайность в среднем за годы проведения исследований 7,91 т/га, что на 0,27 т/га больше, чем на контроле (сорт Крупинка), и на 0,45 т/га меньше, чем у сорта Одари.

В среднем за 2019–2021 гг. урожайность сортов озимой твердой пшеницы при обработке семян регулятором роста Спринталга была выше, чем при обработке чистым водным раствором: у сорта Одари – на 0,67 т/га, Круча – на 0,71 т/га и у сорта Крупинка (контроль) – на 0,79 т/га.

Библиографические ссылки

1. Аксенова Ю.В., Бойко В.С. Роль многолетних трав и интенсивной системы земледелия в повышении энергетического потенциала органического вещества длительно орошаемой лугово-черноземной почвы // Земледелие. 2017. № 5. С. 18–20.
2. Балашов В.В., Агафонов А.К. Влияние регуляторов роста и фунгицидов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в подзоне светло-каштановых почв Волгоградской области // Плодородие. 2013. № 1 (70). С. 28–30.
3. Воронов С.И., Плескачев Ю.Н., Ильяшенко П.В. Основы производства высококачественного зерна озимой пшеницы // Плодородие. 2020. № 2(113). С. 64–66. DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.19.
4. Дубинина О.А., Вожжова Н.Н. Адаптивный потенциал сортов озимой твердой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 2 (51). С. 29–33.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Журавлева Е.В., Милащенко Н.З., Сапожников С.Н., Трушкин С.В. Система увеличения производства высококачественного зерна пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 3. С. 7–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10301.
7. Кирюшин В.И., Южаков А.И., Романова Н.Л., Власенко А.Н. Моделирование зональных систем земледелия на основе полевых экспериментов // Вестник сельскохозяйственной науки. 1990. № 8. С. 99–105.
8. Колесников Л.Е., Кременская И.И., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Киселев М.В., Колесникова Ю.Р. Биологические особенности использования белкового стимулятора роста для повышения урожайности пшеницы и оценка качества зерна методом микрофокусной рентгенографии и оптического анализа // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 3. С. 21–26. DOI: 10.31875/52500262720030060.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 329 с.
10. Магомедов Н.Р., Магомедова Д.С., Ахмедова С.О. Адаптивная технология возделывания новых высокоурожайных сортов озимой пшеницы в Дагестане // Проблемы развития АПК региона. 2016. № 4 (28). С. 18–21.
11. Магомедов Н.Р., Сулейманов Д.Ю., Абдуллаев Ж.Н., Абдуллаев А.А. Урожайность озимой твердой пшеницы сорта Крупинка при различном уровне минерального питания и систем обработки почвы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5. С. 98–100. DOI: 10.2412/2578-6740-2021-5-98-100.

12. Никитин, С.Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах и динамика ростовых процессов при применении биологических препаратов // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 33–28.

13. Rut-Duga D., Shiferaw D.G., Wogayehu W. Effects of blended fertilizer rates on bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) varieties on growth and yield attributes // Journal of Ecology & Natural Resources. 2019. Vol. 3, iss. 3. Article number 000170. DOI: 10.23880/jenr16000170.

14. Solodovnikov A.P., Denisov K.E., Danilov A.N., Korsak V.V., Pimonov K.I. Minimizing tillage to preserve the agro-chemical and water-physical properties of southern black soil after vegetative reclamation // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018. Vol. 9, Iss. 12. P. 1166–1172.

References

1. Aksenova Yu.V., Boiko V.S. Rol' mnogoletnikh trav i intensivnoi sistemy zemledeliya v povyshenii energeticheskogo potentsiala organicheskogo veshchestva dlitel'no oroshaemoi lugovo-chernozemnoi pochvy [The role of perennial grasses and intensive farming system in increasing the energy potential of organic matter in long-term irrigated meadow-chernozem soil] // Zemledelie. 2017. № 5. S. 18–20.

2. Balashov V.V., Agafonov A.K. Vliyanie regulyatorov rosta i fungitsidov na urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy v podzone svetlo-kashtanovykh pochv Volgogradskoi oblasti [Effect of growth regulators and fungicides on the productivity and grain quality of winter wheat in the subzone of light chestnut soils of the Volgograd region] // Plodorodie. 2013. № 1 (70). S. 28–30.

3. Voronov S.I., Pleskachev Yu. N., Il'yashenko P.V. Osnovy proizvodstva vysokokachestvennogo zerna ozimoi pshenitsy [Fundamentals of the production of high-quality winter wheat grain] // Plodorodie. 2020. № 2(113). S. 64–66. DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.19.

4. Dubinina O.A., Vozhzhova N.N. Adaptivnyi potentsial sortov ozimoi tvrdoi pshenitsy. [Adaptive potential of winter durum wheat varieties] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2016. № 2 (51). S. 29–33.

5. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

6. Zhuravleva E.V., Milashchenko N.Z., Sapozhnikov S.N., Trushkin S.V. Sistema uvelichenie proizvodstva vysokokachestvennogo zerna pshenitsy [System to increase the production of high-quality wheat grain] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 3. S. 7–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10301.

7. Kiryushin V.I., Yuzhakov A.I., Romanova N.L., Vlasenko A.N. Modelirovanie zonal'nykh sistem zemledeliya na osnove polevykh eksperimentov [Modeling of zonal farming systems based on field experiments] // Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 1990. № 8. S. 99–105.

8. Kolesnikov L.E., Kremenskaya I.I., Priyatkin N.S., Arkhipov M.V., Kiselev M.V., Kolesnikova Yu.R. Biologicheskie osobennosti ispol'zovanie belkovogo stimulyatora rosta dlya povysheniya urozhainosti pshenitsy i otsenka kachestva zerna metodom mikrofokusnoi rentgenografii i opticheskogo analiza [Biological features of the use of a protein growth stimulator to increase wheat productivity and estimation of grain quality by microfocus radiography and optical analysis] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2020. № 3. S. 21–26. DOI: 10.31875/52500262720030060.

9. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M., 2019. 329 s.

10. Magomedov N.R., Magomedova D.S., Akhmedova S.O. Adaptivnaya tekhnologiya vozdel'yvaniya novykh vysokourozhainykh sortov ozimoi pshenitsy v Dagestane [Adaptive cultivation technology of new highly productive winter wheat varieties in Dagestan] // Problemy razvitiya APK regiona. 2016. № 4 (28). S. 18–21.

11. Magomedov N.R., Suleimanov D. Yu., Abdullaev Zh. N., Abdullaev A.A. Urozhainost' ozimoi tvrdoi pshenitsy sorta Krupinka pri razlichnom urovne mineral'nogo pitaniya i sistem obrabotki pochvy [Productivity of the winter durum wheat variety 'Krupinka' at different levels of mineral nutrition and tillage systems] // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2021. № 5. S. 98–100. DOI: 10.2412/2578-6740-2021-5-98-100.

12. Nikitin S.N. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' rastenii v posevakh i dinamika rostovykh protsessov pri primenenii biologicheskikh preparatov [Photosynthetic activity of plants in crops and dynamics of growth processes in the application of biological products] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 1. S. 33–28.

13. Rut-Duga D., Shiferaw D.G., Wogayehu W. Effects of blended fertilizer rates on bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) varieties on growth and yield attributes // Journal of Ecology & Natural Resources. 2019. Vol. 3, iss. 3. Article number 000170. DOI: 10.23880/jenr16000170.

14. Solodovnikov A.P., Denisov K.E., Danilov A.N., Korsak V.V., Pimonov K.I. Minimizing tillage to preserve the agro-chemical and water-physical properties of southern black soil after vegetative reclamation // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2018. Vol. 9, Iss. 12. P. 1166–1172.

Поступила: 18.01.23; доработана после рецензирования: 27.03.23; принята к публикации: 27.03.23.

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. Магомедов Н.Р. – концептуализация исследования; Бабаев Т.Т. – подготовка опыта; Абдуллаев Ж.Н. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Абдуллаев А.А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВООБОРОТАХ С РАЗНЫМИ ВИДАМИ ПАРА И ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ УДОБРЕННОСТИ

Т. А. Дудкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, dt5dt@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1116-4548
ФГБНУ Курский федеральный аграрный научный центр,
305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70 б; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Целью работы являлось изучение в стационарном полевом опыте действия различных паровых предшественников озимой пшеницы (черный пар, сидеральный пар, занятый пар) и уровней удобрённости (контроль без удобрений, NPK–60 кг д. в./га, NPK–80 кг д. в./га, NPK–100 кг д. в./га) на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Исследования проводили в 2018–2020 гг. в ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Установлено, что наиболее крупное зерно было выращено в севообороте с занятым паром. Выявлено, что при увеличении доз минеральных удобрений различия между севооборотами возрастали. В севообороте с занятым паром также была выше выравненность зерна – на 0,3 и на 0,5 % больше, чем в севооборотах с сидеральным и черным паром. Установлено, что независимо от севооборота, при увеличении дозы минеральных удобрений выравненность повышалась. Отмечено, что масса 1000 зерен у озимой пшеницы самой высокой была при ее выращивании по сидеральному пару при внесении NPK–100 кг д. в./га – 48,4 г, что мы связываем с улучшением питательного режима почвы при внесении сидератов. Определено, что при выращивании пшеницы по сидеральному пару в варианте без удобрений содержание в муке сырой клейковины было на 2,3 и 2,5 % больше, чем по занятому и черному пару. Эта закономерность сохранилась и на удобренных фонах. Показатель содержания клейковины в муке увеличивался с ростом удобрённости. Выявлено, что по упругости клейковины лучшим был севооборот с черным паром. Урожайность озимой пшеницы при NPK–60 кг д. в./га и NPK–100 кг д. в./га была выше при выращивании по черному пару, а на неудобренном контроле и при NPK–80 кг д. в./га – по сидеральному пару. Отмечено, что имеется достоверный рост урожайности культуры, например, с 4,39 до 6,19 т/га в севообороте с черным паром, при повышении норм внесения удобрений.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность, качество зерна, севооборот, минеральные удобрения.

Для цитирования: Дудкина Т. А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в севооборотах с разными видами пара и при различных уровнях удобрённости // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 2. С. 107–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-107-112.



PRODUCTIVITY AND QUALITY OF WINTER WHEAT GRAIN IN CROP ROTATIONS WITH DIFFERENT TYPES OF FALLOW AND AT DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION

T. A. Dudkina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, dt5dt@mail.ru, ORCIDID: 0000-0003-1116-4548
FGBNU Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, Karl Marks str., 70b; e-mail: kurskfarc@mail.ru

The purpose of the current work was to study the effect of various winter wheat forecrops (weedfree fallow, green fallow, sown fallow) and fertilization levels (control without fertilizers, NPK–60 kg a.i./ha, NPK–80 kg a.i./ha, NPK–100 kg a.i./ha) on productivity and quality of winter wheat grain. The study was carried out at the Federal State Budgetary Scientific Institution “Kursk FARC” in 2018–2020. There has been established that the large-sized grain was grown in a crop rotation with a sown fallow. There has been established that with an increase of mineral fertilizers' doses, the differences between crop rotations raised. In the crop rotation with sown fallow, grain evenness was also higher, by 0.3 and 0.5 % more than in crop rotations with green manure and weedfree fallow. There has been found that regardless of the crop rotation, with an increase in the dose of mineral fertilizers, grain evenness increased. There has been determined that the trait ‘1000-grain weight’ was the highest when it was sown in green fallow with 48.4 g of NPK–100 kg a.i./ha, which was due to the improvement of the nutrient regime of the soil with the introduction of green manure. There has been determined that when growing wheat in green fallow in the variant without fertilizers, crude gluten in the flour was 2.3 and 2.5 % more than in sown and weedfree fallow. This pattern was also preserved on fertilized backgrounds. The indicator of gluten percentage in flour increased with the growth of fertilizer. There has been found that crop rotation with weedfree fallow was the best in terms of gluten elasticity. Winter wheat productivity at NPK–60 kg a.i./ha and NPK–100 kg a.i./ha was higher when sown in weedfree fallow, and on unfertilized control and at NPK–80 kg a.i. / ha when sown in green fallow. There has been noted that there is a significant improvement in crop productivity, for example, from 4.39 to 6.19 t/ha in crop rotation with weedfree fallow, with an increase in fertilizer application rates.

Key words: winter wheat, productivity, grain quality, crop rotation, mineral fertilizers.

Введение. Повышение урожайности зерно-роднохозяйственное значение и является одной из основных задач земледелия. Например,

увеличение содержания белка в зерне пшеницы на 1 % значительно не только с технологической, но и с экономической точки зрения.

Продуктивность и качество зерна озимой пшеницы не только обусловлены наследственными биологическими особенностями сортов, но и в значительной степени зависят также от технологии выращивания. Все факторы, определяющие уровень урожайности и качество произведенной продукции, действуют во взаимосвязи (Тарчоков и Матаева, 2019; Бондаренко и др., 2020; Чуян и др., 2022; Тарасов и др., 2022; Yang et al., 2023).

Предшественник играет значительную роль в достижении высокого урожая высококачественного зерна озимой пшеницы. Действие предшественника может зависеть от погодных условий, уровня плодородия почвы и других факторов (Dudkina and Dolgoplova, 2022). Установлено, что в ЦЧЗ лучшими предшественниками для озимой пшеницы являются чистый и занятый пары (Дудкина, 2022; Geng et al., 2023). При выращивании этой зерновой культуры по черному пару значительно снижается засоренность посевов (Чибис, 2022).

Важным фактором формирования урожая и качества зерна является внесение минеральных удобрений. В результате их действия повышается обеспеченность культур севооборота необходимыми им элементами питания, улучшается плодородие почвы (Yang et al., 2022) и способность культур противостоять засорению посевов (Каипов и Чукбар, 2022).

Цель исследований – выявить эффективность различных видов пара и уровней удобрений в повышении урожайности зерна озимой пшеницы и ее качественных характеристик в условиях Центрального Черноземья.

Материалы и методы исследований. Исследования по определению влияния севооборота и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, рассматриваемые в данной статье, выполнены нами в полевых и лабораторных условиях в 2018–2020 гг. в лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий ФГБНУ «Курский ФАНЦ».

Полевой стационарный многофакторный опыт был заложен в 1991 г. и ведется до сих пор с незначительными изменениями. В опыте изучаются различные сочетания биологических и антропогенных факторов воспроизводства плодородия почв.

Опытный участок площадью 10 га размещен на водораздельной части северного склона с уклоном до 3° на территории, прилегающей к с. Панино Медвенского района Курской области. Почва опытного участка – чернозем типичный тяжелосуглинистый среднесиловый с содержанием гумуса в слое почвы 0–40 см – 5,1 %.

Погодные условия значительно различались по годам исследований. Если в 2018 г. осадков выпало 61,8 мм в среднем за месяц,

что больше среднего многолетнего значения на 7,8 мм, то два следующих года характеризовались их недостатком – соответственно 38,6 и 49,0 мм. Температурный режим во все годы исследований был повышенным – 9,9–14,4 °С в среднем за вегетацию культуры, в то время как среднее многолетнее значение составляет 6,5 °С.

Севообороты в опыте пятипольные, развернуты во времени и пространстве с систематическим расположением вариантов в трехкратной повторности. Площадь посевной деланки составляет 202,5 м² (25 м x 18,1 м). В опыте выращивалась озимая мягкая пшеница районированного в ЦЧЗ сорта Синтетик.

В опыте предусмотрено размещение сельскохозяйственных культур в трех севооборотах: 1) зернопаропропашной с черным паром (черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень); 2) зернопаропропашной с сидеральным паром (сидеральный пар (горох) – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на силос – ячмень)); 3) плодосменный (занятый пар (кормовые бобы) – озимая пшеница – сахарная свекла – горох – ячмень)).

Фактор «доза внесения минеральных удобрений» варьировал на четырех уровнях (дозы даны в кг д. в./га): без удобрений (контроль), NPK–60, NPK–80, NPK–100. Минеральные удобрения – нитроаммофоску (NPK–16%) вносили под озимую пшеницу перед предпосевной культивацией разбрасывателем АБУ-1,5. Технология возделывания озимой пшеницы общепринятая для Центрально-Черноземной зоны.

Учет урожая зерна проводили поделочно комбайном Сампо-500. Определение массы 1000 зерен выполняли по ГОСТ 10842-89 «Зерно зерновых и зернобобовых и семена масличных культур».

Определение крупности и выравненности зерна выполняли по ГОСТ 30483-97, содержание клейковины в муке и ИДК – по ГОСТ 27839-2013.

Математическая обработка экспериментальных данных проведена по Б. А. Доспехову с использованием пакета Microsoft Office Excel – 2010.

Результаты и их обсуждение. Изучаемые показатели – сырая клейковина, ИДК, масса 1000 семян, крупность, выравненность являются показателями качества зерна, которые подвержены изменчивости в зависимости от почвенно-климатических условий и места расположения зерновой культуры в севообороте, а также внесения удобрений.

Согласно классификации зерна озимой пшеницы по крупности на нашем опыте во всех исследуемых вариантах зерно относится к первой группе – крупному зерну (ГОСТ 10939-64). Рассматриваемый показатель в среднем за три года варьировал от 89,5 до 92,9 % (табл. 1).

Таблица 1. Крупность и выравненность зерна озимой пшеницы в зависимости от севооборота и доз минеральных удобрений, 2018–2020 гг.
Table 1. Grain size and evenness of winter wheat depending on crop rotation and mineral fertilizers' doses, 2018–2020

Севооборот	Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Крупность (сход с сита 2,5 x 2,0 мм), %	Выравненность (сход с сит 2,5 x 2,0 и 2,2 x 2,0 мм), %
Зернопаропропашной с черным паром	Контроль	89,5	97,9
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	90,4	98,5
	$N_{80}P_{80}K_{80}$	90,7	98,6
	$N_{100}P_{100}K_{100}$	90,8	98,7
Зернопаропропашной с сидеральным паром	Контроль	88,9	98,1
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	90,2	98,2
	$N_{80}P_{80}K_{80}$	90,4	98,5
	$N_{100}P_{100}K_{100}$	90,7	98,5
Плодосменный	Контроль	90,3	98,4
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	91,1	98,9
	$N_{80}P_{80}K_{80}$	92,3	99,0
	$N_{100}P_{100}K_{100}$	92,9	99,0
НСП ₀₅	A	1,1	0,3
	B	1,3	0,4
	AB	2,2	0,6

Самое крупное зерно озимой пшеницы было получено в вариантах с занятым паром (90,3–92,9 %), что на 0,8 и 1,4 % больше, чем при возделывании озимой пшеницы после черного и сидерального пара. При повышении удобрённости различия между севооборотами возрастают. Так, при внесении NPK–80 разница составила соответственно 1,6 и 1,9 %, а при внесении дозы NPK–100 – 2,1 и 2,2 %.

Показатель выравненности зерна озимой пшеницы в среднем за годы исследований (2018–2020 гг.) и конкретно по отдельным годам во всех изучаемых вариантах был высоким и варьировал от 97,9 до 99,0 %. Данное зерно является выравненным и относится к высокой категории по рассматриваемому показателю. Это определено по сумме схода зерновой массы, полученной на двух смежных ситах 2,5 x 2,0 мм и 2,2 x 2,0 мм. При использовании этого зерна в качестве посевного материала семена дадут более дружные всходы и в последующем более активный рост и развитие растений.

Наиболее высокий показатель выравненности зерна был получен в севообороте с заня-

тым паром. В сравнении с сидеральным и черным паром разница составила соответственно 0,3 и 0,5 %. При внесении минеральных удобрений и увеличении их дозы внесения по всем трем предшественникам озимой пшеницы выравненность зерна увеличивалась (по черному пару – на 0,8, сидеральному пару – на 0,4, занятому пару – на 0,6 %).

В среднем по опыту масса 1000 зерен составила 46,5 г, что характеризует зерно как крупное (табл. 2). При рассмотрении действия на этот показатель различных предшественников установлено, что на контроле и на всех уровнях удобрённости наибольшая масса 1000 зерен была при выращивании озимой пшеницы по сидеральному пару. Это связано с поступлением в почву при заделке в нее зеленого удобрения большого количества свежего органического вещества, что обеспечило лучшие условия питания для культуры. Прослеживалась тенденция увеличения массы 1000 зерен при более высоких дозах минеральных удобрений.

Таблица 2. Качество зерна озимой пшеницы в зависимости от севооборота и доз минеральных удобрений, 2018–2020 гг.
Table 2. Grain quality of winter wheat depending on crop rotation and mineral fertilizers' doses, 2018–2020

Севооборот	Доза внесения минеральных удобрений, кг д. в./га	Масса 1000 зерен, г	Сырая клейковина, %	Упругость (ИДК), ед.
Зернопаропропашной с черным паром	Контроль	46,1	21,6	101,3
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	47,7	23,6	95,9
	$N_{80}P_{80}K_{80}$	47,1	25,0	97,3
	$N_{100}P_{100}K_{100}$	48,2	25,8	95,8

Окончание табл. 2

Севооборот	Доза внесения минеральных удобрений, кг д. в./га	Масса 1000 зерен, г	Сырая клейковина, %	Упругость (ИДК), ед.
Зернопаропропашной с сидеральным паром	Контроль	47,0	24,1	102,2
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	47,8	25,6	101,6
	$N_{80}P_{80}K_{80}$	48,3	26,3	102,2
	$N_{100}P_{100}K_{100}$	48,4	26,8	98,1
Плodosменный	Контроль	46,7	21,8	95,4
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	47,1	23,0	101,2
	$N_{80}P_{80}K_{80}$	47,4	23,5	96,3
	$N_{100}P_{100}K_{100}$	48,0	24,9	101,6
HCP ₀₅	A	0,3	1,4	2,8
	B	0,9	1,5	3,2
	AB	1,1	2,6	5,7

Наибольшие показатели массы 1000 зерен были получены в 2018 г. и варьировали по всем вариантам от 48,7 до 53,0 г. В 2020 г. эти значения находились в интервале от 46,1 до 48,4 г. Это связано с более благоприятными условиями данных двух лет для роста и развития растений озимой пшеницы и формирования зерна.

В 2019 г. масса 1000 зерен была ниже, чем в 2018 и 2020 гг., и варьирование ее составило 43,0–45,9 г.

Лучшим годом по температурному режиму и количеству осадков был 2018 г., что обеспечило более высокую, чем в другие годы, массу 1000 зерен.

В 2019 г. этот показатель в целом по опыту был ниже на 6,4, а в 2020 г. – на 4,7 %.

Считается, что масса 1000 зерен взаимосвязана с показателем крупности зерна, но на практике не всегда так бывает. Это показывают и наши исследования. Зерно может быть крупным, но не выполненным, и в таком случае взаимосвязь между массой 1000 зерен и крупностью зерна нарушается.

По показателям количества и качества клейковины в муке судят о хлебопекарных свойствах выращенного зерна. Влияние различных видов пара на содержание сырой клейковины являлось статистически значимым (HCP₀₅ = 1,4 %). В варианте с сидеральным паром на неудобренном фоне содержание сырой клейковины было больше в среднем на 2,3 и 2,5 %, чем в вариантах с занятым и черным паром соответственно. Подобная закономерность сохранилась и в вариантах с различными дозами минеральных удобрений.

Во всех изучавшихся севооборотах во все годы исследований имела место тенденция увеличения содержания сырой клейковины в муке с ростом удобренности.

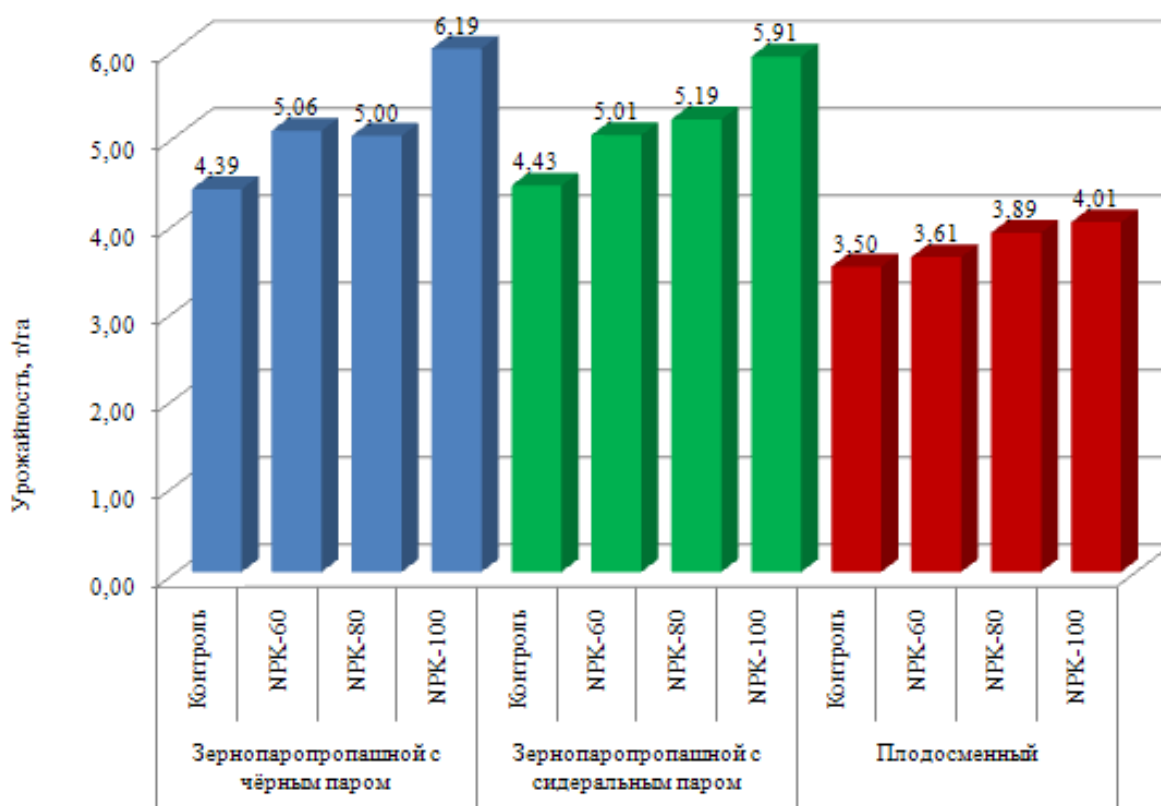
Упругость характеризует качество клейковины. Чем меньше показатель упругости, тем выше качество. Полученные данные по упругости клейковины (ИДК) показывают, что клейко-

вина в опыте относилась ко второй и третьей группе (удовлетворительно слабая и неудовлетворительно слабая). Такой результат в значительной мере определяется особенностями сорта. Сорт Синтетик, как отмечено в его характеристике, относится ко второй группе по качеству клейковины.

По показателю упругости клейковины преимущество в среднем по фоне удобрений имел севооборот с черным паром. Действие различных доз минеральных удобрений на рассматриваемый показатель было довольно разноречивым. Если в севооборотах с черным и сидеральным паром качество клейковины было выше при наибольшей дозе удобрений, то в севообороте с занятым паром – на неудобренном фоне.

Суммирующим показателем, характеризующим действие изучаемых в опыте факторов, является урожайность. Материалы исследований представлены на диаграмме (рисунок). Проведенный нами анализ данных показал, что на урожайность озимой пшеницы оказали существенное влияние как предшественник, так и различные дозы минеральных удобрений.

В варианте без применения удобрений урожайность озимой пшеницы выше всего была при ее выращивании по сидеральному пару. Совсем немного уступал ему севооборот с черным паром. В плодосменном севообороте (с занятым паром) ситуация значительно отличалась. Здесь отмечено снижение урожайности озимой пшеницы по сравнению с севооборотом с сидеральным и черным паром на 21,1 и 20,3 % соответственно. При дозах минеральных удобрений NPK–60 и NPK–100 наибольшая урожайность была, когда предшественником озимой пшеницы был черный пар, а при дозе минеральных удобрений NPK–80 – сидеральный пар. При всех уровнях удобренности севооборот с занятым паром уступал по урожайности другим севооборотам.



HCP_{05} (т/га) в среднем за 3 года: А – 0,19; В – 0,21; АВ – 0,38

Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от севооборота и доз минеральных удобрений, т/га (2018–2020 гг.)

Productivity of winter wheat grain depending on crop rotation and mineral fertilizers' doses, t/ha, 2018–2020

Примечание. А – севооборот, В – минеральные удобрения, АВ – сочетание двух факторов.

Положительное влияние вносимых минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы отмечено во всех изучавшихся севооборотах. С увеличением дозы удобрений урожайность культуры достоверно увеличивалась: в зернопаропропашном севообороте с черным паром с 4,39 т/га на неудобренном фоне до 6,19 т/га при внесении NPK-100 кг д. в./га; в зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром и плодосменном севообороте (с занятым паром) – соответственно с 4,43 до 5,91 и с 3,50 до 4,01 т/га. Самая низкая отдача от удобрений, судя по урожайности озимой пшеницы, была при выращивании ее в плодосменном севообороте, а самая высокая – в зернопаропропашном севообороте с черным паром. Максимальная прибавка урожая озимой пшеницы от удобрений получена в зернопаропропашном севообороте с черным паром при уровне удобренности NPK-100 – 1,80 т/га (41 %).

Выводы. Исследованиями установлено, что вид севооборота и дозы минеральных удобрений оказывали существенное влияние на урожайность зерна озимой пшеницы сорта Синтетик. Из всех вариантов опыта наибольшей она была в зернопаропропашном севообороте при выращивании озимой пшеницы по черно-

му пару при максимальном уровне удобренности (NPK-100) – 6,19 т/га. Незначительно уступал этому предшественнику сидеральный пар – 5,91 т/га, а на отдельных фонах удобрений превышал его. Значительно ниже была урожайность пшеницы в плодосменном севообороте при максимальной дозе удобрений 4,01 т/га.

По таким качественным показателям зерна, как масса 1000 зерен и содержание клейковины в муке, преимущество имел зернопаропропашной севооборот с сидеральным паром. Наибольшая масса 1000 зерен в опыте была в этом севообороте при дозе минеральных удобрений NPK-100 кг д. в./га – 48,4 г. Содержание сырой клейковины в муке также самым большим было в этом варианте – 26,8 %.

При выращивании озимой пшеницы в плодосменном севообороте выше были крупность и выравненность зерна, при максимальной в опыте дозе минеральных удобрений NPK-100 кг д. в./га – соответственно 92,9 и 99,0 %.

Увеличение дозы минеральных удобрений в опыте способствовало росту урожайности зерна озимой пшеницы, например, в зернопаропропашном севообороте с черным паром – с 4,39 т/га на неудобренном фоне до 6,19 т/га при внесении NPK-100 кг д. в./га.

С ростом удобренности также увеличивались масса 1000 зерен, например, в зернопаропропашном севообороте с черным паром

с 46,1 в варианте без удобрений до 48,2 г и выравненность зерна – с 97,9 до 98,7 %.

Библиографические ссылки

1. Бондаренко А. Н., Гусакова Н. Н., Жук Е. А. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна озимых зерновых культур // Аграрный научный журнал. 2020. № 2. С. 4–8. DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp4-8.
2. Дудкина Т. А. Влияние различных севооборотов, доз минеральных удобрений и погодных условий на урожай и качество зерна озимой пшеницы в Центральном Черноземье // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1. С. 30–40. DOI: 10.33952/2542-0720-2022-1-29-30-40.
3. Каипов Я. З., Чукбар Н. А. Влияние биологизированных севооборотов на засоренность посевов в условиях засушливой степи Зауралья Башкортостана // Аграрная наука. 2022. № 5. С. 67–72. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-67-72.
4. Тарасов С. А., Подлесных И. В., Прущик А. В., Зарудная Т. Я. Влияние агролесомелиоративного комплекса на агрофизические свойства почвы и урожайность культур на склонах Центрального Черноземья // Земледелие. 2022. № 5. С. 3–7. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-5-3-7.
5. Тарчоков Х. Ш., Матаева О. Х. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от технологий возделывания в степной зоне Кабардино-Балкарии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 1 (87). С. 98–102.
6. Чибис, В. В. Совершенствование технологии производства зерна в севооборотах лесостепи Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 1. С. 45–52. DOI: 10.48136/2222-0364_2022_1_45.
7. Чуян Н. А., Масютенко Н. П., Брескина Г. М. Влияние агробиотехнологии на продуктивность зернового севооборота // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 4. С. 68–73. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/4/68-73.
8. Dudkina T. A., Dolgoplova N. V. The role of weather conditions in the formation of yield and quality of winter wheat grain in Central Chernozem region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 954. P. 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012024.
9. Geng S., Tan J., Li L., Miao Yu., Wang Y. Legumes can increase the yield of subsequent wheat with or without grain harvesting compared to Gramineae crops: A meta-analysis // European Journal of Agronomy. 2022. Vol. 142. Article number 126643. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126643.
10. Yang R., Song Shujun, Chen Sh., Du Z., Kong J. Adaptive evaluation of green manure rotation for a low fertility farmland system: Impacts on crop yield, soil nutrients, and soil microbial community // CATENA. 2023. Vol. 222. Article number 106873. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106873.

References

1. Bondarenko A. N., Gusakova N. N., Zhuk E. A. Vliyanie mineral'nogo pitaniya na urozhainost' i kachestvo zerna ozimyykh zernovykh kul'tur [Effect of mineral nutrition on the productivity and grain quality of winter crops] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 2. С. 4–8. DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp4-8.
2. Dudkina T. A. Vliyanie razlichnykh sevooborotov, doz mineral'nykh udobrenii i pogodnykh uslovii na urozhai i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy v Tsentral'nom Chernozem'e [Effect of various crop rotations, doses of mineral fertilizers and weather conditions on the productivity and grain quality of winter wheat in the Central Chernozem region] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2022. № 1. С. 30–40. DOI: 10.33952/2542-0720-2022-1-29-30-40.
3. Kaipov Ya. Z., Chukbar N. A. Vliyanie biologizirovannykh sevooborotov na zasorennost' posevov v usloviyakh zasushlivoi stepi Zaural'ya Bashkortostana [Effect of biologized crop rotations on crop weediness in the conditions of the arid steppe of the Trans-Urals of Bashkortostan] // Agrarnaya nauka. 2022. № 5. С. 67–72. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-67-72.
4. Tarasov S. A., Podlesnykh I. V., Prushchik A. V., Zarudnaya T. Ya. Vliyanie agrolesomeliiorativnogo kompleksa na agrofizicheskie svoistva pochvy i urozhainost' kul'tur na sklonakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [Effect of the agroforestry complex on the agrophysical properties of the soil and crop productivity on the slopes of the Central Chernozem Region] // Zemledelie. 2022. № 5. С. 3–7. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-5-3-7.
5. Tarchokov Kh. Sh., Mataeva O. Kh. Urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot tekhnologii vozdel'yvaniya v stepnoi zone Kabardino-Balkarii [Productivity and grain quality of winter wheat depending on cultivation technologies in the steppe zone of Kabardino-Balkaria] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2019. № 1 (87). С. 98–102.
6. Chibis V. V. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva zerna v sevooborotakh lesostepi zapadnoi Sibiri [Technological improvement of grain production in crop rotations in the forest-steppe of Western Siberia] // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 1. С. 45–52. DOI: 10.48136/2222-0364_2022_1_45.
7. Chuyan N. A., Masyutenko N. P., Breskina G. M. Vliyanie agrobiotekhnologii na produktivnost' zernovogo sevooborota [The impact of agrobiotechnology on the productivity of grain crop rotation] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2022. № 4. С. 68–73. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/4/68-73.
8. Dudkina T. A., Dolgoplova N. V. The role of weather conditions in the formation of yield and quality of winter wheat grain in Central Chernozem region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 954. P. 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012024.
9. Geng Sainan, Tan Jinfang, Li Lantao, Miao Yuhong, Wang Yilun. Legumes can increase the yield of subsequent wheat with or without grain harvesting compared to Gramineae crops: A meta-analysis // European Journal of Agronomy. 2022. Vol. 142. Article number 126643. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126643.

10. Yang Rong, Song Shujun, Chen Shiyang, Du Zeyu, Kong Junqia. Adaptive evaluation of green manure rotation for a low fertility farmland system: Impacts on crop yield, soil nutrients, and soil microbial community // CATENA. 2022. Vol. 222. Article number 106873. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106873.

Поступила: 20.02.23; доработана после рецензирования: 27.03.23; принята к публикации: 27.03.23.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Дудкина Т.А. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА И НОРМ ВЫСЕВА НА ПОЛЕВУЮ ВСХОЖЕСТЬ И СОХРАННОСТЬ К УБОРКЕ РАСТЕНИЙ ЗИМУЮЩЕГО ГОРОХА В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. А. Васильченко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, wasilchenko12@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1587-2533;

Г. В. Метлина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, metlina_gv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1712-0976;

А. Р. Ашиев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье приведены результаты изучения элементов технологии возделывания (срок посева, норма высева) зимующего гороха в южной зоне Ростовской области. Полевые опыты были проведены в течение двух сельскохозяйственных лет – в 2019/2020 и 2020/2021 годах. Объектом исследований являлись сорта зимующего гороха Фокус, Фаэтон, Зимус. Цель исследований: изучение влияния сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность растений зимующего гороха к уборке в условиях южной зоны Ростовской области. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,36 %, pH – 7,0, P_2O_5 – 24,4; K_2O – 360 мг/кг почвы. Сроки посева оказали влияние на полевую всхожесть. В среднем за годы исследований полевая всхожесть в одном сроке составляла от 27,0 до 93,5 %, во втором – от 33,6 до 91,0 %, в третьем – от 31,5 до 94,5 %. Доля влияния срока посева на полевую всхожесть составляла от 9,4 % по сорту Фаэтон до 22,5 % по сорту Фокус. Сохранность растений зимующего гороха к уборке составляла от 91,7 % (Зимус) до 96,2 % (Фаэтон) в первом сроке посева, во втором сроке посева она находилась в пределах от 93,6 % (Фаэтон) до 96,5 % (Фаэтон), в третьем сроке посева составляла от 93,7 % по сорту Фокус до 96,3 % по сорту Фокус. Доля влияния срока посева на сохранность к уборке составляла от 5,4 % по сорту Зимус до 23,4 % по сорту Фокус. В среднем за годы исследований максимальная полевая всхожесть отмечалась по сорту Фаэтон (94,5 %) при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га. Наибольшая сохранность отмечалась по сорту Фаэтон (96,5 %) при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га во втором сроке посева.

Ключевые слова: зимующий горох, срок посева, норма высева, полевая всхожесть, сохранность к уборке.

Для цитирования: Васильченко С. А., Метлина Г. В., Ашиев А. Р. Влияние сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность к уборке растений зимующего гороха в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 114–120. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-114-120.



EFFECT OF SOWING TIME AND SEEDING RATES ON FIELD GERMINATION AND HARVESTING PRESERVATION OF WINTERING PEAS IN THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION

S. A. Vasilchenko, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, wasilchenko12@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1587-2533;

G. V. Metlina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, metlina_gv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1712-0976;

A. R. Ashiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented the study results of the elements of cultivation technology (sowing time, seeding rate) of wintering peas in the southern part of the Rostov region. Field trials were carried out during two agricultural years in 2019–2020 and 2020–2021. The objects of research were the varieties of wintering peas 'Fokus', 'Faeton', 'Zimus'. The purpose of the research was to study the effect of sowing time and seeding rates on field germination and harvesting preservation of wintering peas in the conditions of the southern part of the Rostov region. The soil of the experimental plot was ordinary calcareous heavy loamy chernozem on loess-like loams. The content of humus in the arable layer was 3.36%, pH was 7.0, P_2O_5 was 24.4; K_2O was 360 mg/kg of soil. The sowing time had

an impact on field germination. On average, over the years of research, field germination in the 1st period ranged from 27.0 to 93.5 %, in the second from 33.6 to 91.0 %, in the third from 31.5 to 94.5 %. The share of the effect of the sowing time on field germination ranged from 9.4 % for the variety 'Faeton' to 22.5 % for the variety 'Fokus'. The harvesting preservation of wintering peas ranged from 93.8 % ('Zimus') to 94.8 % ('Faeton') in the first sowing period, in the second sowing period it ranged from 95.0 % ('Faeton') to 95.5 % ('Fokus'), in the third, the harvesting preservation ranged from 94.7 % for the variety 'Fokus' to 95.6 % for the variety 'Zimus'. The share of the effect of the sowing time on harvesting preservation ranged from 5.4 % for the variety 'Zimus' to 23.4 % for the variety 'Fokus'. On average, over the years of study, the maximum field germination was observed for the variety 'Faeton' (93.5 %) at a seeding rate of 1.0 million germin. seeds/ha. The best preservation was identified for the variety 'Faeton' (96.5 %) at a seeding rate of 1.0 million germin. seeds/ha in the second sowing period.

Keywords: wintering peas, sowing time, seeding rate, field germination, harvesting preservation.

Введение. Горох является основной зернобобовой культурой России, занимающей площадь 1445,3 тыс. га в различных почвенно-климатических условиях: от приполярной зоны до засушливых степей (Горох. Обзор ВЭД, 2022; Савельев, 2017).

Для зимующего гороха как культуры, в развитии которой имеется период зимнего покоя, важное значение имеют сроки посева. Сроки посева озимых культур оказывают влияние на появления всходов, а также на густоту стояния растений к уборке, при посеве в оптимальные сроки отмечается увеличение продолжительности периода до появления всходов, а также количество растений перед уборкой выше при оптимальных сроках посева (Балашов и др., 2016; Попов и др., 2022). Оптимальными принято считать сроки посева, при которых развитие растений перед началом зимовки обеспечивает высокую их зимостойкость, устойчивость к болезням и вредителям (Курдюков и др., 2017). Более 28 % составляет влияние срока посева на формирование урожайности (Фадеева и др., 2020).

Не менее важным при возделывании сельскохозяйственных растений является норма высева семян, влияющая на продуктивность при оптимальном сроке сева (Фадеева и др., 2020). Таким образом, увеличение нормы высева в поздние сроки посева неприменимо в условиях изменяющегося климата (Попов и др., 2022). Нормы высева также оказывают влияние на показатели качества сельскохозяйственной продукции и выход соломы (Uzum et al., 2017; Tan et al., 2014; Krga et al., 2019).

Сроки посева и нормы высева зимующего гороха в условиях Ростовской области изучены слабо. Цель исследований: определение влияния сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность растений зимующего гороха к уборке в южной зоне Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Научные исследования проведены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в течение двух сельскохозяйственных лет – в 2019/2020 и 2020/2021 гг. на раннеспелых сортах зимующего гороха Зимус, Фокус, Фаэтон, патентообладателем и оригинатором которых является ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». Почва опытного участка – чернозем обыкновенный

карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,36%, pH – 7,0, P_2O_5 – 24,4; K_2O – 360 мг/кг почвы. Предшественник – озимая пшеница.

В технологии возделывания зимующего гороха предусматривалось двойное дискование стерни озимой пшеницы, затем вспашка с оборотом пласта на глубину 20–22 см и предпосевная культивация. Сев опытных делянок осуществляли селекционной сеялкой СС-11 «Альфа».

Повторность опыта – четырехкратная, учетная площадь делянки – 20 м², расположение делянок систематическое. Глубина заделки семян – 7–8 см. Уборку проводили комбайном Wintersteiger Classic.

Достоверность опытных данных определялась по величине наименьшей существенной разности, стандартному отклонению. Статистическую обработку осуществляли по методике Б.А. Доспехова (2014) с использованием компьютерных программ Microsoft Excel 2007, AgStat.

Схема опыта

Срок посева.

1. Посев – 1 декада октября (температура почвы на глубине заделки семян 18–20 °C).
2. Посев – 2 декада октября (температура почвы на глубине заделки семян 14–16 °C).
3. Посев – 3 декада октября (температура почвы на глубине заделки семян 10–12 °C).

Нормы высева:

- 1) 1,0 млн шт. всх. семян/га;
- 2) 1,2 млн шт. всх. семян/га;
- 3) 1,4 млн шт. всх. семян/га;
- 4) 1,6 млн шт. всх. семян/га;
- 5) 1,8 млн шт. всх. семян/га.

Так как предшественником зимующего гороха являлась озимая пшеница, то применяли гербицид Фюзилад Форте, КЭ в дозе 1 л/га для уничтожения растений озимой пшеницы весной после возобновления весенней вегетации.

Семена перед посевом обрабатывали протравителем семян Максим, КС в дозе 1,5 л/т семян.

В 2019/2020 и 2020/2021 сельскохозяйственных годах среднесуточная температура воздуха была выше среднелетней на 2,3 и 2,2 °C (норма – 9,6 °C) (рис. 1).

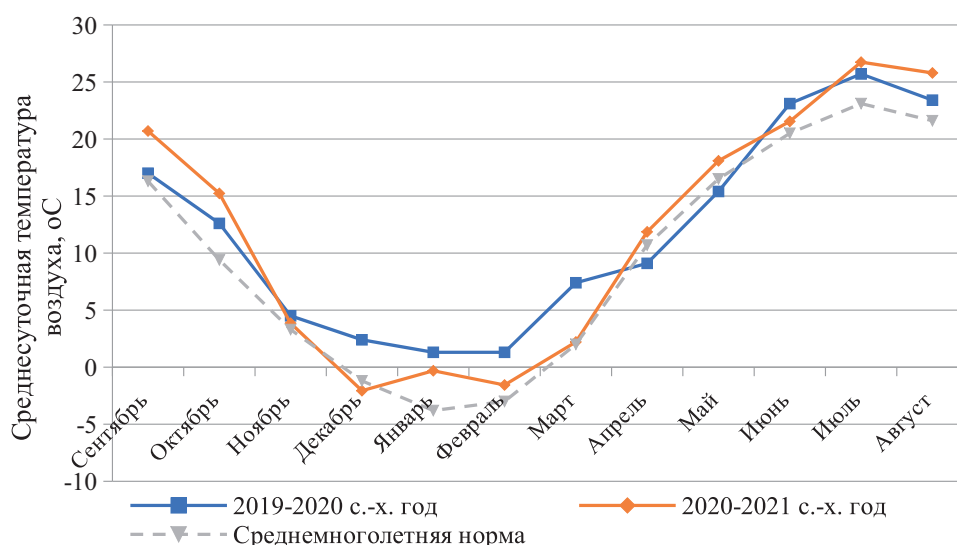


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха в 2019/2020 и 2020/2021 сельскохозяйственные годы (по данным метеостанции «Зерноград»)

Fig. 1. Average daily air temperature in 2019/2020 and 2020/2021 agricultural years (according to the weather station 'Zernograd')

В осенний период 2019 и 2020 гг. среднесуточная температура воздуха была на 1,7 и 3,6 °C выше среднемноголетней нормы (9,7 °C). Зимние месяцы 2019/2020 г. отмечались положительными температурами воздуха (среднесуточная температура воздуха 1,7 °C), а в 2020/2021 сельскохозяйственном году среднесуточная температура воздуха на 1,4 °C превышала среднемноголетнюю норму (-2,7 °C). Весной и летом 2020 г. среднесуточная температура воздуха также превышала среднемноголетнюю норму на 0,9 и 2,4 °C соответственно при норме 9,7 и 21,7 °C. Подобная тенденция также отмечалась в весенние и лет-

ние месяцы 2021 г., где превышение составило 1,0 и 3,0 °C соответственно к среднемноголетней норме.

Осадки выпадали неравномерно по сезонам и месяцам, а их сумма за год была меньше среднемноголетней и составила в 2019/2020 и 2020/2021 сельскохозяйственных годах 463,7 и 568,7 мм соответственно (норма – 582,4 мм) (рис. 2).

В осенний период 2019 и 2020 гг. отмечался недобор атмосферных осадков, который составил 50,6 и 103,1 мм к среднемноголетней норме (131,5 мм), из-за чего всходы зимующего гороха были редкими и недружными.

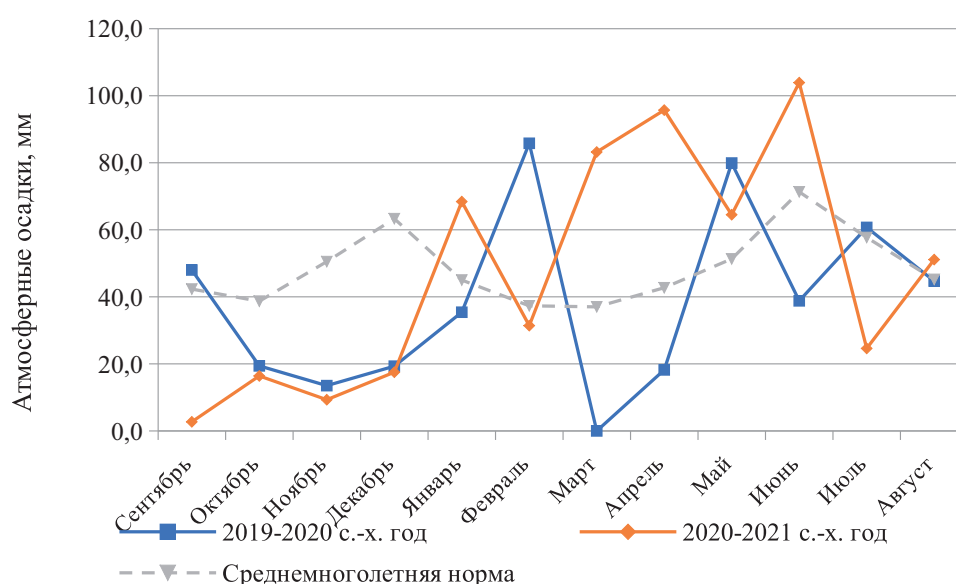


Рис. 2. Атмосферные осадки в 2019/2020 и 2020/2021 сельскохозяйственные годы (по данным метеостанции «Зерноград»)

Fig. 2. Atmospheric precipitation in 2019/2020 and 2020/2021 agricultural years (according to the weather station 'Zernograd')

В зимние месяцы 2019/2020 и 2020/2021 сельскохозяйственных годов количество осадков составляло 140,5 и 117,3 мм соответственно (норма 145,7 мм).

В весенний период 2020 и 2021 гг. количество составило 98,1 и 243,4 мм соответственно, что значительно отличалось от среднепогодной нормы (131,0 мм).

В летние месяцы 2020 и 2021 гг. количество осадков составляло 144,2 и 179,6 мм соответственно, что на 17,2 ниже и 3,1 % выше среднепогодной нормы (174,2 мм).

Результаты и их обсуждение. В среднем за годы исследований при посеве влажность почвы в слоях 0–10 и 10–20 см составляла 14,5 и 12,8 % в первом сроке посева, 18,7 и 11,2 % – во втором сроке посева, 17,1 и 12,2 % – в третьем сроке посева. Подобная влажность почвы недостаточна для появления дружных всходов, что отразилось на полевой всхожести зимующего гороха.

У сорта Фокус (усатый тип листа) в первом сроке посева полевая всхожесть находилась в пределах от 29,8 до 66,0 % (количество растений 53,6–66,0 шт./м²) и была максимальной при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га, а минимальной – при 1,8 млн шт. всх. семян/га.

Во втором сроке посева этот показатель находился в пределах от 33,6 % при норме высева 1,8 млн шт. всх. семян/га до 85,0 % при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га. Выпавшие атмосферные осадки во второй декаде октября способствовали хорошему увлажнению посевного слоя почвы, что отразилось на полевой всхожести.

В третьем сроке посева полевая всхожесть находилась в интервале от 37,0 до 87,5 % (количество растений 64,0–87,5 шт./м²). Наблюдалась тенденция, характерная для первого и второго сроков посева, когда с увеличением нормы высева снижалась полевая всхожесть (табл. 1).

Таблица 1. Влияние сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность растений к уборке, сорт Фокус, среднее за 2020–2021 гг.
Table 1. Effect of sowing time and seeding rates on field germination and harvesting preservation, the variety 'Fokus', mean in 2020–2021

Срок посева	Норма высева, млн шт. всх. семян/га	Полевая всхожесть, %	Количество растений, шт./м ²		Сохранность к уборке, %
			всходы	перед уборкой	
1	1,0	66,0	66,0	62,9	95,3
	1,2	49,0	58,8	55,7	94,8
	1,4	41,5	58,1	54,7	94,2
	1,6	35,6	57,0	53,5	93,8
	1,8	29,8	53,6	49,8	93,0
2	1,0	85,0	85,0	81,3	95,7
	1,2	67,7	81,2	77,9	95,9
	1,4	51,0	71,4	68,3	95,6
	1,6	38,7	61,9	59,1	95,5
	1,8	33,6	60,5	57,2	94,6
3	1,0	87,5	87,5	84,3	96,3
	1,2	61,1	73,3	69,8	95,2
	1,4	50,3	70,4	66,5	94,4
	1,6	40,0	64,0	60,1	93,9
	1,8	37,0	66,6	62,4	93,7
Среднее		51,6	67,7	64,2	94,8
Стандартное отклонение		18,2	10,4	10,4	0,9
НСР ₀₅ для частных различий		–	3,8	4,1	–
НСР ₀₅ по фактору А		–	2,2	2,4	–
НСР ₀₅ по фактору В		–	1,7	1,8	–
НСР ₀₅ по взаимодействию АВ*		–	–	–	–

Примечание. * – $F_{факт} < F_{теор}$.

Доля влияния срока посева на полевую всхожесть составила 22,5 %, а нормы высева – 51,4 %.

По сорту Фокус в первом сроке посева сохранность находилась в пределах 95,3–93,0 % (количество растений 49,8–62,9 шт./м²), во втором сроке – 95,9–94,6 % (количество растений 57,2–81,3 шт./м²), в третьем сроке – 96,3–93,7 % (количество растений 60,1–84,3 шт./м²). Доля влияния срока посева на сохранность растений к уборке составляла 23,4 %, а нормы высева – 37,9 %.

Полевая всхожесть выше значения стандартного отклонения отмечалась во втором и третьем сроках посева при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га.

Сохранность растений выше стандартного отклонения отмечалась во втором сроке посева при норме высева 1,2 млн шт. всх. семян/га и в третьем сроке посева при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га.

Полевая всхожесть по сорту Зимус (усатый тип листа) находилась в пределах 27,0–65,0 % (количество растений 48,6–65,0 шт./м²) в пер-

вом сроке, 35,6–86,0 % (количество растений 63,4–86,0 шт./м²) во втором и 31,5–73,5 % (количество растений 56,7–75,4 шт./м²) в третьем (табл. 2).

Таблица 2. Влияние сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность растений к уборке, сорт Зимус, среднее за 2020–2021 гг.
Table 2. Effect of sowing time and seeding rates on field germination and harvesting preservation, the variety 'Zimus', mean in 2010–2021

Срок посева	Норма высева, млн шт. всх. семян/га	Полевая всхожесть, %	Количество растений, шт./м ²		Сохранность к уборке, %
			всходы	перед уборкой	
1	1,0	65,0	65,0	62,3	95,8
	1,2	55,9	67,1	63,5	94,6
	1,4	45,2	63,3	59,4	93,9
	1,6	42,2	67,5	62,7	92,8
	1,8	27,0	48,6	44,6	91,7
2	1,0	86,0	86,0	82,4	95,8
	1,2	67,0	80,4	76,8	95,5
	1,4	47,7	66,8	63,6	95,3
	1,6	39,6	63,4	60,1	94,9
	1,8	35,6	64,1	60,6	94,6
3	1,0	73,5	73,5	70,7	96,2
	1,2	62,8	75,4	72,3	95,9
	1,4	48,7	68,2	65,1	95,5
	1,6	42,4	67,8	64,7	95,3
	1,8	31,5	56,7	53,8	94,9
Среднее		51,3	67,6	64,2	94,8
Стандартное отклонение		16,6	9,0	9,1	1,2
НСР ₀₅		–	5,0	4,1	–
НСР ₀₅ по фактору А (срок посева)		–	2,9	2,4	–
НСР ₀₅ по фактору В (норма высева)		–	2,2	1,9	–
НСР ₀₅ по взаимодействию АВ*		–	–	–	–

Примечание. * – $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$.

Доля влияния срока посева на появление всходов составила 19,3 %, а нормы высева – 33,0 %.

По сорту Зимус в первом сроке посева сохранность растений находилась на уровне 91,7–95,8 % (количество растений 44,6–63,5 шт./м²), во втором сроке посева – 94,6–95,8 % (количество растений 60,1–82,4 шт./м²), в третьем сроке посева – 94,9–96,2 % (количество растений 53,8–72,3 шт./м²).

Доля влияния срока посева на сохранность растений составляла 5,4 %, а норма высева существенно выше – 66,4 %.

Превышение стандартного отклонения отмечалось по показателю «полевая всхожесть» во втором и третьем сроках посева при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га, а по показателю «сохранность растений к уборке» – только в третьем сроке посева при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га.

Высокорослый сорт Фаэтон (листочковый тип листа) отличался наиболее высокой полевой всхожестью. В первом сроке посева полевая всхожесть находилась в интервале 49,1–93,5 % (количество растений 79,7–105,8 шт./м²), во втором – 52,8–91,0 % (количество растений 91,0–107,0 шт./м²), в третьем – 46,8–94,5 % (количество растений 84,2–108,4 шт./м²) (табл. 3).

Таблица 3. Влияние сроков посева и норм высева на полевую всхожесть и сохранность растений к уборке, сорт Фаэтон, среднее за 2020–2021 гг.
Table 3. Effect of sowing time and seeding rates on field germination and harvesting preservation, the variety 'Faeton', mean in 2020–2021

Срок посева	Норма высева, млн шт. всх. семян/га	Полевая всхожесть, %	Количество растений, шт./м ²		Сохранность к уборке, %
			всходы	перед уборкой	
1	1,0	93,5	93,5	89,9	96,2
	1,2	88,2	105,8	101,1	95,5
	1,4	74,5	104,3	99,0	94,9
	1,6	49,8	79,7	74,9	94,0
	1,8	49,1	88,4	82,5	93,3
2	1,0	91,0	91,0	87,8	96,5
	1,2	88,1	105,7	101,2	95,7
	1,4	76,4	107,0	101,5	94,9

Окончание табл. 3

Срок посева	Норма высева, млн шт. всх. семян/га	Полевая всхожесть, %	Количество растений, шт./м ²		Сохранность к уборке, %
			всходы	перед уборкой	
3	1,6	59,2	94,7	89,2	94,2
	1,8	52,8	95,0	89,0	93,6
	1,0	94,5	94,5	90,6	95,9
	1,2	87,2	104,6	100,0	95,6
	1,4	77,4	108,4	103,5	95,5
	1,6	62,1	99,4	79,3	95,1
	1,8	46,8	84,2	79,9	94,8
Среднее		72,7	97,1	91,3	95,0
Стандартное отклонение		17,8	8,9	9,4	0,9
НСР ₀₅		–	4,0	4,1	–
НСР ₀₅ по фактору А (срок посева)		–	2,3	2,4	–
НСР ₀₅ по фактору В (норма высева)		–	1,8	1,8	–
НСР ₀₅ по взаимодействию АВ*		–	–	–	–

Примечание. * – $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$.

Доля влияния срока посева на полевую всхожесть составила 9,4%, а нормы высева – 56,0 %.

По сорту Фаэтон в первом сроке посева сохранность растений находилась на уровне 93,3–96,2 % (количество растений 74,9–101,1 шт./м²), во втором сроке посева – 93,6–96,5 % (количество растений 87,8–101,5 шт./м²), в третьем сроке посева – 94,8–95,9 % (количество растений 79,3–103,5 шт./м²). Доля влияния срока посева на сохранность растений к уборке составляла 20,9 %, а норма высева – 50,0 %.

Превышение стандартного отклонения полевой всхожести отмечалось во всех сроках посева при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га, а по сохранности растений к уборке – в первом и во втором сроках посева также при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га.

Выводы. В условиях южной зоны Ростовской области наименьшая полевая всхо-

жесть зимующего гороха по предшественнику озимая пшеница отмечалась в первом сроке посева, что связано с недостаточным увлажнением посевного слоя почвы. Доля влияния срока посева на полевую всхожесть составляла от 9,4 до 22,5 %, нормы высева – от 33,0 до 56,0 %. Сорт зимующего гороха с листочковым типом листа (Фаэтон) отличался более высокой полевой всхожестью в сравнении с сортами с усатым типом листа (Фокус, Зимус). Доля влияния срока посева на сохранность к уборке составляла от 5,4 до 23,4 %, нормы высева – от 37,9 до 66,4 %. Максимальная полевая всхожесть отмечалась по сорту Фаэтон (94,5 %) при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га, с увеличением нормы высева полевая всхожесть снижалась. Наибольшая сохранность отмечалась по сорту Фаэтон (96,5 %) при норме высева 1,0 млн шт. всх. семян/га во втором сроке посева.

Библиографические ссылки

1. Горох. Обзор ВЭД [Электронный ресурс]. URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2022/07/Обзор-ВЭД_Горох.pdf (дата обращения 27.12.2022).
2. Балашов В. В., Левкин В. Н., Левкина К. В. Предельно допустимые сроки посева озимой мягкой пшеницы на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2016. № 4 (44). С. 39–45.
3. Курдюков В. Ф., Прянишников А. И., Шубитидзе Г. В., Левицкая Н. Г., Васильева М. Ю. Возделывание озимых культур в степной зоне Поволжья // Аграрный вестник Юго-Востока. 2017. № 2(17). С. 29–34.
4. Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Копман И. К., Марченко Д. М., Самофалов А. П., Фетюхин И. В. Предшественники и сроки посева сорта мягкой озимой пшеницы Юбилей Дона в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 97–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103.
5. Попов А. С., Сухарев А. А., Овсянникова Г. В. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность и качество зерна сорта мягкой озимой пшеницы Универ // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 5. С. 641–654. DOI:10.30766/2072-9081.2022.23.5.641-654.
6. Савельев В. А. Горох: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. СПб.: Издательство «Лань», 2017. 264 с.
7. Фадеева И. Д., Тагиров М. Ш., Газизов И. Н., Курмакаев Ф. Ф. Влияние сроков сева и норм высева на урожайность сортов озимой пшеницы в условиях Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 2(58). С. 53–58. DOI 10.12737/2073-0462-2020-53-58.
8. Krga I., Simic A., Mandic' V., Bijelic' Z., Dzeletovic' Ž., Vasiljevic' S., Adzic' S. Forage yield and protein content of different field pea cultivars and oat mixtures grown as winter crops // Turkish Journal of Field Crops. 2019. Vol. 24, Iss. 2. P. 170–177. DOI: 10.17557/tjfc.643524.

9. Tan M., Kursun K.K., Dumlu gul Z. Effects of row spacing and seeding rate on hay and seed yield of eastern Anatolian forage pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) ecotype // Turkish Journal of Field Crops. 2014. Vol. 19, iss. 1. P. 96–100. DOI: 10.17557/tjfc.47786.

10. Uzum A., Asik B.B., Acikgoz E. Effects of different seeding rates on forage yield and quality components in pea // Turkish Journal of Field Crops. 2017. Vol. 22, Iss. 1. P. 126–133. DOI: 10.17557/tjfc.312335.

References

1. Gorokh. Obzor VED [Peas. Overview of foreign economic activity.] [Elektronnyi resurs]. URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2022/07/Obzor-VED_Gorokh.pdf (data obrashcheniya 27.12.2022).

2. Balashov V.V., Levkin V.N., Levkina K.V. Predel'no dopustimye sroki poseva ozimoi myagkoi pshenitsy na svetlo-kashtanovykh pochvakh Nizhnego Povolzh'ya [Maximum admissible sowing time of winter common wheat on light-chestnut soils of the Lower Volga region] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. 2016. № 4 (44). S. 39–45.

3. Kurdyukov V.F., Pryanishnikov A.I., Shubitidze G.V., Levitskaya N.G., Vasil'eva M.Yu. Vozdelyvanie ozimyykh kul'tur v stepnoi zone Povolzh'ya [Cultivation of winter crops in the steppe zone of the Volga region] // Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka. 2017. № 2(17). S. 29–34.

4. Popov A.S., Ovsyannikova G.V., Sukharev A.A., Kopman I.K., Marchenko D.M., Samofalov A.P., Fetyukhin I.V. Predshhestvenniki i sroki poseva sorta myagkoi ozimoi pshenitsy Yubilei Dona v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Forecrops and sowing time of the winter common wheat variety 'Yubilei Dona' in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 4. S. 97–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103.

5. Popov A.S., Sukharev A.A., Ovsyannikova G.V. Vliyanie srokov poseva i norm vyseva na urozhainost' i kachestvo zerna sorta myagkoi ozimoi pshenitsy Univer [Effect of sowing time and seeding rates on productivity and grain quality of the winter common wheat variety 'Univer'] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. T. 23, № 5. S. 641–654. doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.641-654.

6. Savel'ev, V.A. Gorokh [Peas: a study book]: Uchebnoe posobie. 2-e izd., pererab. – SPb.: Izdatel'stvo «Lan», 2017. 264 s.

7. Fadeeva I.D., Tagirov M. Sh., Gazizov I.N., Kurmakaev F.F. Vliyanie srokov seva i norm vyseva na urozhainost' sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Respubliki Tatarstan // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. T. 15, № 2(58). S. 53–58. DOI 10.12737/2073-0462-2020-53-58.

8. Krga I., Simic A., Mandic' V., Bijelic' Z., Dzeletovic' Ž., Vasiljevic' S., Adzic' S. Forage yield and protein content of different field pea cultivars and oat mixtures grown as winter crops // Turkish Journal of Field Crops. 2019. Vol. 24, Iss. 2. P. 170–177. DOI: 10.17557/tjfc.643524.

9. Tan M., Kursun K.K., Dumlu gul Z. Effects of row spacing and seeding rate on hay and seed yield of eastern Anatolian forage pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) ecotype // Turkish Journal of Field Crops. 2014. Vol. 19, iss. 1. P. 96–100. DOI: 10.17557/tjfc.47786.

10. Uzum A., Asik B.B., Acikgoz E. Effects of different seeding rates on forage yield and quality components in pea // Turkish Journal of Field Crops. 2017. Vol. 22, Iss. 1. P. 126–133. DOI: 10.17557/tjfc.312335.

Поступила: 03.03.23; доработана после рецензирования: 10.04.23; принята к публикации: 10.04.23.

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. Васильченко С.А. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи. Метлина Г.В. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи. Ашиев А.Р. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.