
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Т. 16, № 5. 2024 год

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

Журнал включен в Перечень ВАК Минобрнауки России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,
выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени доктора и кандидата наук (группа научных специальностей 4.1. 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 – Скуйбекина О. Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.
Тел.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.10.2024

Дата выхода 28.10.2024. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №

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

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA

Vol. 16, № 5. 2024

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

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

EDITORIAL BOARD:

Batalova G. A., Federal Agricultural Research Center of the East named N. V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Kirov, Russia);
Bespalova L. A., "P. P. Lukiyanenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Volkova G. V., All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology), corresponding member of RAS (Krasnodar, Russia);
Gontcharenko A. A., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Davletov F. A., Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia);
Dolzhenko V. I., All-Russian Research Institute of Plant Protection – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (St. Petersburg, Russia);
Dubina E. V., Federal Scientific Rice Centre – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);
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. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A. M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pakhomov V. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Technology), docent, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Upadyshev M. T., Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture), professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);
Shevchenko S. N., Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Samara, Russia);

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

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

The journal has been included in the List of the leading peer-reviewed scientific publications where there are published the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences (scientific specialty 4.1. Agronomy, forestry, water economy). The journal is introduced into the system of Russian Science Citation Index on the platform of Web of Science (core of RSCI). The journal has been included in the International Data Base DOAJ.

English version is of Olga N. Skuybedina.

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

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

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.10.2024

The date of the issue is 28.10.2024. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Мухина М. Т., Шаповал О. А., Боровик Р. А., Коршунов А. А. Оценка адаптогенного потенциала мелатонина в отношении устойчивости семян и проростков яровой пшеницы к засолению	5
Хлыстунов В. Ф., Ковтунов В. В. Результаты определения существенных селекционных признаков эталонного образца сорго зернового	13
Фадеева И. Д., Курмакаев Ф. Ф., Идиатова Р. Х. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Сабан для Среднего Поволжья	21
Калинина Н. В., Черткова Н. Г., Донцова В. Ю., Марченко Д. М. Оценка развития андрогенных дигаметоидных линий озимой пшеницы поколения R1 в условиях <i>in vivo</i>	26
Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Комбинационная способность новых линий кукурузы по урожайности зерна и составляющим ее компонентам	33
Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Бишарев А. А., Анисимкина Н. В. Урожайность и качество зерна сортов пленчатого и голозерного овса в условиях Среднего Поволжья	40
Иванисова А. С., Марченко Д. М., Дубинина О. А., Майдабуро Л. И., Кравченко Н. С. Физико-химические свойства зерна перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы в условиях юга Ростовской области	46
Гелюх В. Н., Ашиев А. Р., Барановский А. В., Садовой А. С. Корреляционные связи признаков продуктивности и содержания белка в семенах гороха посевного в условиях Донбасса	52
Газе В. Л., Лобунская И. А., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Костылев П. И., Донцова А. А. Физиологическая оценка устойчивости к жаре и засухе на начальных этапах онтогенеза озимого ячменя	58
Калюжный А. А., Костылев П. И., Ковтунов В. В. Морфо-биологическое изучение коллекции сорго зернового ФГБНУ «АНЦ «Донской»	64
Шумская О. В., Вожжова Н. Н., Жогалева О. С., Хахулина Ю. А., Костылев П. И. Выявление образцов риса с генами устойчивости к пирикулярриозу <i>Pi-2</i> и <i>Pi-b</i>	71

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Гуреев И. И., Гостев А. В., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Агроэкологическая оценка влияния севооборотов и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях Центрально-Черноземного региона России	78
Канцуров М. В., Ильинская И. Н., Рычкова М. И. Влияние агротехнических приемов на урожайность новых сортов озимой пшеницы на черноземах обыкновенных	88
Волков А. И., Прохорова Л. Н., Иванов Д. А. Влияние технологий mini-till и no-till на урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя	95
Сухарев А. А., Овсянникова Г. В., Копман И. К. Урожайность озимого ячменя в южной зоне Ростовской области при посеве по предшественнику подсолнечник с разными нормами высева	101

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Оценка озимого ячменя на устойчивость к пыльной головне	108
--	-----

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Mukhina M.T., Shapoval O.A., Borovik R.A., Korshunov A.A. Estimation of the adaptogenic potential of melatonin on salinity resistance of spring wheat seeds and sprouts	5
Khlystunov V.F., Kovtunov V.V. Results of determining essential breeding traits of a standard grain sorghum sample	13
Fadeeva I.D., Kurmakaev F.F., Idiatova R. Kh. New winter common wheat variety 'Saban' for the Middle Volga region	21
Kalinina N.V., Chertkova N.G., Dontsova V. Yu., Marchenko D. M. Estimation of the development of androgenic dihaploid lines of winter wheat of the R1 generation <i>in vivo</i>	26
Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S. Combining ability of new maize lines according to grain productivity and its components	33
Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Bisharev A. A., Anisimkina N. V. Productivity and grain quality of hulled and hulls oat varieties in the Middle Volga region	40
Ivanisova A. S., Marchenko D. M., Dubinina O. A., Maidaburo L. I., Kravchenko N. S. Physicochemical properties of grain of promising winter durum wheat varieties and lines in the south of the Rostov region	46
Gelyukh V. N., Ashiev A. R., Baranovsky A. V., Sadovoy A. S. Correlation between productivity traits and protein percentage in pea seeds in the conditions of Donbass	52
Gaze V. L., Lobunskaya I. A., Cherpakova E. Yu., Yanovskaya N. V., Kostylev P. I., Dontsova A. A. Physiological estimation of heat and drought resistance at the initial stages of winter barley ontogenesis	58
Kalyuzhny A. A., Kostylev P. I., Kovtunov V. V. Morpho-biological study of the grain sorghum collection of the FSBSI "ARC "Donskoy"	64
Shumskaya O. V., Vozhzhova N. N., Zhogaleva O. S., Khakhulina Yu. A., Kostylev P. I. Identification of rice samples with rice blast resistance genes <i>Pi-2</i> and <i>Pi-b</i>	71

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Gureev I. I., Gostev A. V., Lukiyanov V. A., Khlyupina S. V., Prushchik I. A. Agroecological estimation of the effect of crop rotation and mineral fertilizers on productivity and quality of spring barley grain in the Central Blackearth region of Russia	78
Kantsurov M. V., Ilinskaya I. N., Rychkova M. I. The effect of agrotechnical methods on productivity of new winter wheat varieties on ordinary blackearth	88
Volkov A. I., Prokhorova L. N., Ivanov D. A. The effect of mini-till and no-till technologies on productivity and quality of malting barley grain	95
Sukharev A. A., Ovsyannikova G. V., Kopman I. K. Winter barley productivity in the southern part of the Rostov region when sowing sunflower as a forecrop with different seeding rates	101

PLANT PROTECTION

Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Estimation of winter barley for loose smut resistance	108
---	-----

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 577.175.19:633.11»321»:581.1.046

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-5-12

ОЦЕНКА АДАПТОГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА МЕЛАТОНИНА В ОТНОШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕМЯН И ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ К ЗАСОЛЕНИЮ

М. Т. Мухина, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, mtmasm@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6210-592X;
О. А. Шаповал, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, shapowal.olga@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3375-527X;

Р. А. Боровик, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, to.roman@yahoo.com, ORCID ID: 0009-0004-5152-8021;

А. А. Коршунов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, alexkorshunov01@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1392-4133

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова», 127434, Москва, ул. Прянишникова, д. 31-А; тел. 8 (499) 976-37-50, факс: 8 (499) 976-37-39; e-mail: info@vniia-pr.ru

Настоящая статья посвящена изучению мелатонина как адаптогена, способного повышать толерантность пшеницы к воздействию стресса, вызванного избыточным содержанием в окружающей среде легко растворимых солей. Цель проведенного исследования – оценка в рамках лабораторного модельного опыта способности мелатонина повышать всхожесть семян и стимулировать ростовые процессы проростков пшеницы на фоне засоления. Исследование проводили на базе ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова в 2024 году. В качестве объекта исследования были выбраны семена пшеницы яровой сорта Дарья. Перед закладкой опыта семена были обработаны водными растворами мелатонина в концентрациях 0; 0,01; 0,1; 1 и 10 мг/л методом прайминга. В качестве фоновых растворов для проращивания использовали дистиллированную воду и раствор хлорида натрия 150 мМ. В результате было показано, что в рамках проведенного эксперимента наблюдалось повышение всхожести семян на фоне обработки растворами мелатонина в концентрациях от 0,1 до 10 мг/л на засоленном фоне. Обработка семян мелатонином демонстрировала выраженный ростостимулирующий эффект на проростки пшеницы, особенно в отношении корневой системы. Однако сила этого эффекта была несколько снижена на засоленном фоне по сравнению с контрольными условиями. Максимальный ростостимулирующий эффект от применения мелатонина на обоих фонах наблюдался при применении раствора с концентрацией 1 мг/л. Также было отмечено, что прайминг семян мелатонином способствовал удержанию воды в клетках корней проростков, что может быть одним из механизмов повышения устойчивости растений к засолению.

Ключевые слова: яровая пшеница, мелатонин, стресс, засоление.

Для цитирования: Мухина М. Т., Шаповал О. А., Боровик Р. А., Коршунов А. А. Оценка адаптогенного потенциала мелатонина в отношении устойчивости семян и проростков яровой пшеницы к засолению // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 5–12. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-5-12.



ESTIMATION OF THE ADAPTOGENIC POTENTIAL OF MELATONIN ON SALINITY RESISTANCE OF SPRING WHEAT SEEDS AND SPROUTS

M. T. Mukhina, Candidate of Biological Sciences, head of the laboratory for testing the elements of agrotechnologies, agrochemicals and pesticides, mtmasm@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6210-592X;

O. A. Shapoval, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for testing the elements of agrotechnologies, agrochemicals and pesticides, shapowal.olga@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3375-527X;

R. A. Borovik, PhD in Biology, researcher of the laboratory for testing the elements of agrotechnologies, agrochemicals and pesticides, to.roman@yahoo.com, ORCID ID: 0009-0004-5152-8021;

A. A. Korshunov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for testing the elements of agrotechnologies, agrochemicals and pesticides, alexkorshunov01@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1392-4133

FSBI All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov, 127434, Moscow, Pryanishnikov Str., 31-A, tel.: 8 (499) 976-37-50, fax: 8 (499) 976-37-39

The current paper is devoted to the study of melatonin as an adaptogen capable of increasing wheat tolerance to stress caused by excess levels of easily soluble salts in the environment. The purpose of the study was to evaluate, within the framework of a laboratory model experiment, the ability of melatonin to increase seed germination and stimulate growth processes in wheat sprouts against the background of salinity. The study was conducted at the FSBI All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov in 2024. The study objects were seeds of the spring wheat variety 'Darya'. Before the experiment, the seeds were treated with aqueous solutions of melatonin in concentrations of 0; 0.01; 0.1; 1 and 10 mg/l using the priming method. Distilled water and a 150 mM sodium chloride solution were used as background solutions for germination. As a result, there has been shown that within the framework of the experiment, there is an increase in seed germination against the background of treatment with melatonin solutions in concentrations from 0.1 to 10 mg/l against a saline background. Seed treatment with melatonin has demonstrated a pronounced growth-stimulating effect on wheat sprouts, especially in relation to the root system. However, the strength of this effect was somewhat reduced on a saline background compared to control conditions. There was a maximum growth-stimulating effect of melatonin on both backgrounds when using a solution with a concentration of 1 mg/l. There was also established that priming seeds with melatonin promoted water retention in seedling root cells, which may be one of the mechanisms for increasing plant resistance to salinity.

Keywords: spring wheat, melatonin, stress, salinity.

Введение. Выращивание сельскохозяйственных культур зачастую сопряжено с риском снижения жизнеспособности растений на ранних этапах развития в результате воздействия внешних стрессовых факторов. Одним из таких факторов является избыточное содержание легкорастворимых солей в почвенном растворе. Происхождение этих солей может быть как естественным, так и антропогенным. Первый вариант наблюдается в почвах аридных регионов с десуктивно-выпотным водным режимом или в гидроморфных почвах, находящихся под влиянием засоленных грунтовых вод. Антропогенное засоление связано либо с загрязнением почв, либо с применением минеральных удобрений. Зачастую система удобрений включает обязательное внесение припосевного удобрения, в особенности на бедных легких почвах, для обеспечения питательными элементами растений на этапе всходов. Локальное внесение минеральных удобрений может значительно повышать концентрацию легкорастворимых солей в почвенном растворе в зоне прорастания семян и формирования всходов (EL Sabagh et al., 2021; Минеев и др., 2017).

Избыточное содержание солей в почвенном растворе повышает его осмотическое давление по отношению к давлению внутри клетки корня, что приводит к оттоку воды по градиенту концентрации. В результате клетка обезвоживается и все жизненно важные метаболические процессы в ней ингибируются. Клетки корня обладают комплексом механизмов для противодействия осмотическому стрессу, однако эти механизмы имеют свой предел. К таковому можно отнести регуляцию осмотического давления внутри клетки путем накопления углеводов, регуляцию содержания калия, активность транспортерных мембранных белков и т.д. (EL Sabagh et al., 2021; Seleiman et al., 2021).

Регуляция антистрессовых механизмов у растений осуществляется гормональным путем. Одним из ключевых агентов регуляции физиологического ответа на стресс является мелатонин – молекула индольной природы, которая не так давно была признана новым фитогормоном. Способность мелатонина повышать устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды была показана во множестве

исследований, в связи с чем применение мелатонина представляет практический интерес в контексте повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к различным неблагоприятным и стрессовым условиям (Shibaeva et al., 2018; Arnao and Hernández-Ruiz, 2020; Jiang et al., 2021; Murch and Erland, 2021).

Цель настоящего исследования заключалась в проведении в рамках модельного лабораторного опыта оценки потенциала использования мелатонина для обработки семян с целью повышения жизнеспособности, всхожести семян и стимуляции ростовых процессов проростков яровой пшеницы сорта Дарья в условиях повышенного содержания легкорастворимых солей в окружающей среде.

Материалы и методы исследований. Изучение эффективности мелатонина в повышении толерантности яровой пшеницы к избыточному содержанию в среде легкорастворимых солей проводили с использованием климатической камеры (POL-EKO). Для достижения целей исследования была разработана оригинальная методика, которая базируется на методах определения показателей всхожести (ГОСТ 12038-84, методе фитотестирования (ISO 22030:2005) и методе прайминга семян (Rajora et al., 2022)).

Схема опыта построена на основе двухфакторного дисперсионного комплекса с тремя повторностями. Первый фактор – засоление – включал две градации: дистиллированная вода и 150 мМ раствор хлорида натрия. Вторым фактором – концентрация водного раствора мелатонина – включал пять градаций: 0 мг/л; 0,01 мг/л; 0,1 мг/л; 1 мг/л и 10 мг/л.

В качестве опытной культуры была выбрана яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья. Семена урожая 2023 года, масса 1000 семян – 39,54 г, натура – 831 г.

Опыт проводили на базе ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова в феврале 2024 года. Перед закладкой опыта семена пшеницы обрабатывали растворами мелатонина согласно схеме опыта методом прайминга. Суть прайминга заключается в замачивании семян в испытуемом растворе в массовом соотношении 1 : 5 (семена : раствор) в течение суток при температуре 25 °С в темноте. Затем семена промывают дистиллированной водой и вы-

сушивают в течение суток при тех же условиях (Rajora et al., 2022).

Перед закладкой опыта была проведена дезинфекция оборудования путем прокаливании чашек Петри при 180 °С в течение двух часов и кварцевания внутреннего пространства климатической камеры в течение 30 минут.

После прайминга семена выкладывали в чашки Петри на два слоя фильтровальной бумаги равномерно по 20 штук. В качестве фона в каждую чашку добавляли 10 мл дистиллированной воды (нейтральный фон) или 150 мМ раствора хлорида натрия (засоленный фон) согласно схеме опыта. Чашки Петри с семенами инкубировали в климатической камере при температуре 20 °С в течение семи дней без освещения.

На третьи сутки была определена энергия прорастания семян, на седьмые сутки – всхожесть семян и проведены биометрические измерения: определены средняя длина корней и надземных вегетативных органов, их воздушно-сухая масса и влажность в пересчете на 10 растений. Полученные результаты были обработаны методами корреляционного и двухфакторного дисперсионного анализа со взаимодействием в программе LibreOffice Calc 24.2.4. Полученные данные приведены в формате: среднее $\pm$ стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение. Всхожесть и энергия прорастания семян являются важными показателями их жизнеспособности. Присутствие в окружающей среде легкорастворимых солей повышает осмотическое давление окружающего раствора, создавая градиент водного потенциала, провоцируя отток воды из живых клеток, снижая тем самым их жизнеспособность. Полученные нами данные демонстрируют это явление – на нейтральном фоне семена имели высокие показатели лабораторной всхожести – 95 %, а на засоленном фоне всхожесть семян составляла 88,3 %. Применение мелатонина позволило повысить жизнеспособность семян, пророщенных на засоленном фоне. Заметный положительный эффект наблюдался на вариантах, где проводилась обработка мелатонином в концентрации от 0,1 до 10 мг/л. На этих вариантах на засоленном фоне всхожесть составила 91,7–96,7 % при всхожести на нейтральном фоне 96,7–100,0 %. Энергия прорастания была несущественно ниже лабораторной всхожести и имела аналогичную динамику. Низкая концентрация мелатонина в 0,01 мг/л оказалась неэффективной в отношении повышения показателей всхожести (табл. 1).

Таблица 1. Показатели всхожести семян яровой пшеницы на нейтральном и засоленном фонах
Table 1. Germination rates of spring wheat seeds on neutral and saline backgrounds

Концентрация мелатонина, мг/л	0 (контроль)	0,01	0,1	1	10
<i>Энергия прорастания, %</i>					
Фон: H ₂ O	95,0	100,0	93,3	98,3	96,7
Фон: 150 мМ NaCl	88,3	85,0	96,7	91,7	90,0
<i>Лабораторная всхожесть, %</i>					
Фон: H ₂ O	95,0	100,0	96,7	98,3	100,0
Фон: 150 мМ NaCl	88,3	86,7	96,7	91,7	91,7

Избыточное содержание легкорастворимых солей в почвенном растворе негативно сказывается на развитии проростков пшеницы – ингибируется рост вегетативных органов, замедляются водный и углеводный обмен, снижается накопление биомассы. Чем быстрее происходит рост проростка и чем крупнее его размеры, тем больше вероятность того, что он выживет на ранних этапах и разовьется в здоровое растение, способное реализовать свой продуктивный потенциал. Поэтому биометрия проростков является информативным индикатором эффективности действия адаптогена.

Полученные в ходе исследования данные по биометрии показали, во-первых, угнетение роста проростков пшеницы на засоленном фоне, а во-вторых, наличие у мелатонина ростостимулирующего действия на обоих фонах. На нейтральном фоне по мере роста концентрации рабочего раствора мелатонина практические линейно возрастала средняя длина и воздушно-сухая масса надземных вегетативных органов – с $9,3 \pm 0,1$ см и $0,064 \pm 0,003$ г в контроле до $9,8 \pm 0,1$ см и $0,070 \pm 0,006$ г на варианте с применением максимальной дозы мелатонина в 10 мг/л (рис. 1, табл. 2).

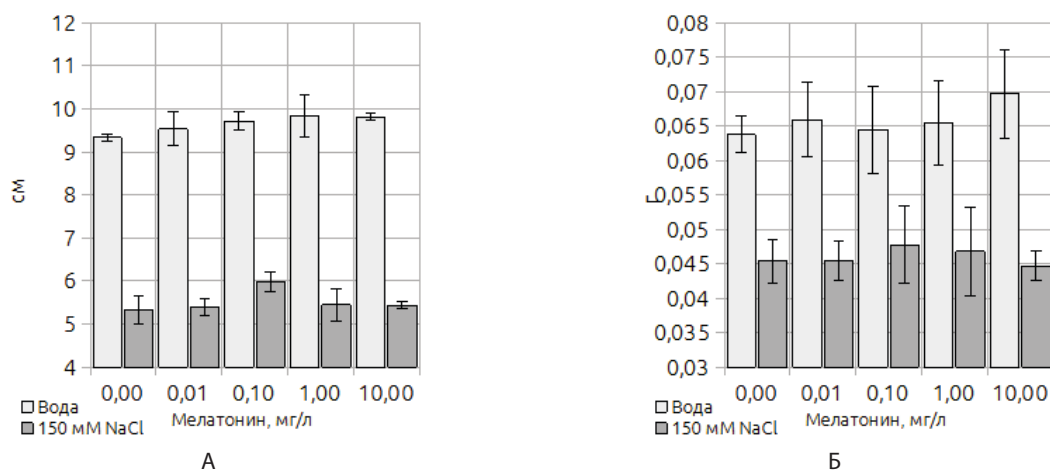


Рис. 1. Средняя длина (А) и суммарная воздушно-сухая масса (Б) надземных вегетативных органов 10 проростков пшеницы
Fig. 1. Mean length (A) and total air-dry mass (B) of aboveground vegetative organs of 10 wheat sprouts

Таблица 2. Биометрические параметры, воздушно-сухая масса и влажность корней и надземных вегетативных органов проростков яровой пшеницы
Biometric parameters, air-dry mass, and moisture content of the roots and aboveground vegetative organs of spring wheat seedlings

Фон	Раствор мелатонина, мг/л	Надземные вегетативные органы (в пересчете на 10 растений)		Корни (в пересчете на 10 растений)		Соотношение «надземные вегетативные органы : корни»		Влажность, %	
		Средняя длина, см	Воздушно-сухая масса, г	Средняя длина, см	Воздушно-сухая масса, г	Соотношение длин	Соотношение воздушно-сухих масс	Надземных вегетативных органов	Корней
H ₂ O дист.	0	9,3 ± 0,1	0,064 ± 0,003	12,4 ± 0,8	0,066 ± 0,003	0,78 ± 0,06	0,96 ± 0,01	90,5 ± 0,2	91,2 ± 0,3
H ₂ O дист.	0,01	9,5 ± 0,4	0,066 ± 0,005	13,5 ± 0,8	0,073 ± 0,010	0,72 ± 0,04	0,90 ± 0,05	90,5 ± 0,2	90,6 ± 0,4
H ₂ O дист.	0,10	9,7 ± 0,2	0,064 ± 0,006	13,6 ± 0,4	0,076 ± 0,010	0,72 ± 0,02	0,85 ± 0,03	90,4 ± 0,2	91,3 ± 0,5
H ₂ O дист.	1,00	9,8 ± 0,5	0,065 ± 0,006	14,3 ± 0,3	0,081 ± 0,006	0,69 ± 0,04	0,81 ± 0,02	90,4 ± 0,2	91,1 ± 0,3
H ₂ O дист.	10,0	9,8 ± 0,1	0,070 ± 0,006	13,1 ± 0,9	0,075 ± 0,008	0,76 ± 0,06	0,93 ± 0,09	90,1 ± 0,2	90,8 ± 0,3
150 mM NaCl	0	5,3 ± 0,3	0,045 ± 0,003	6,2 ± 0,4	0,047 ± 0,004	0,89 ± 0,01	0,97 ± 0,03	89,1 ± 0,5	90,2 ± 0,9
150 mM NaCl	0,01	5,4 ± 0,2	0,045 ± 0,003	6,4 ± 0,4	0,046 ± 0,003	0,87 ± 0,03	0,98 ± 0,04	89,1 ± 0,5	91,2 ± 0,7
150 mM NaCl	0,10	6,0 ± 0,2	0,048 ± 0,006	6,8 ± 0,2	0,051 ± 0,005	0,90 ± 0,03	0,94 ± 0,05	89,0 ± 0,3	91,8 ± 0,2
150 mM NaCl	1,00	5,5 ± 0,4	0,047 ± 0,006	6,8 ± 0,6	0,050 ± 0,005	0,82 ± 0,04	0,93 ± 0,05	88,7 ± 0,3	92,0 ± 0,4
150 mM NaCl	10,0	5,4 ± 0,1	0,045 ± 0,002	6,1 ± 0,4	0,049 ± 0,004	0,90 ± 0,05	0,91 ± 0,04	88,9 ± 0,3	92,1 ± 0,0
Результаты двухфакторного дисперсионного анализа со взаимодействием									
Фактор:		p =							
засоление		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003	<0,001	0,012
мелатонин		0,046	0,930	0,008	0,143	0,027	0,013	0,318	0,009
взаимодействие		0,270	0,664	0,397	0,665	0,662	0,119	0,648	0,003
HCP ₀₅		0,5	0,008	1,0	0,011	0,07	0,08	0,5	0,8

Примечание. Данные приведены в формате: среднее ± стандартное отклонение.

На засоленном фоне также отмечался прирост как линейного размера, так и воздушно-сухой биомассы надземных вегетативных органов, однако пик этих показателей приходился на вариант с концентрацией мелатонина 0,1 мг/л – 6,0±0,2 см и 0,048±0,006 г при значениях в контроле соответственно 5,3±0,3 см и 0,045±0,003 г. Двухфакторный дисперсионный анализ показал наличие статистической значимости в $p = 0,046$ в отношении влияния

мелатонина на длину надземных вегетативных органов. HCP₀₅ для данного показателя составила 0,5 см. В отношении воздушно-сухой массы статистическая значимость не обнаружилась ($p = 0,93$), однако динамика этого показателя тесно коррелировала с длиной надземных органов ($r = 0,94$).

Влияние мелатонина на рост и развитие корневой системы пшеницы было выражено несколько отчетливее. Как и в отношении

надземных органов, в отношении корневой системы мелатонин также проявлял ростостимулирующее действие с похожей динамикой, но с отличием в том, что пиковые биометрические показатели наблюдались у семян, прошедших прайминг раствором мелатонина в концентрации 1 мг/л. В контроле на нейтраль-

ном фоне длина корневой системы составляла $12,4 \pm 0,8$ см и на засоленном фоне – $6,2 \pm 0,4$ см (рис. 2, табл. 2). На варианте с праймингом семян раствором мелатонина в концентрации 1 мг/л значения составили соответственно $14,3 \pm 0,3$ и $6,8 \pm 0,6$ см.

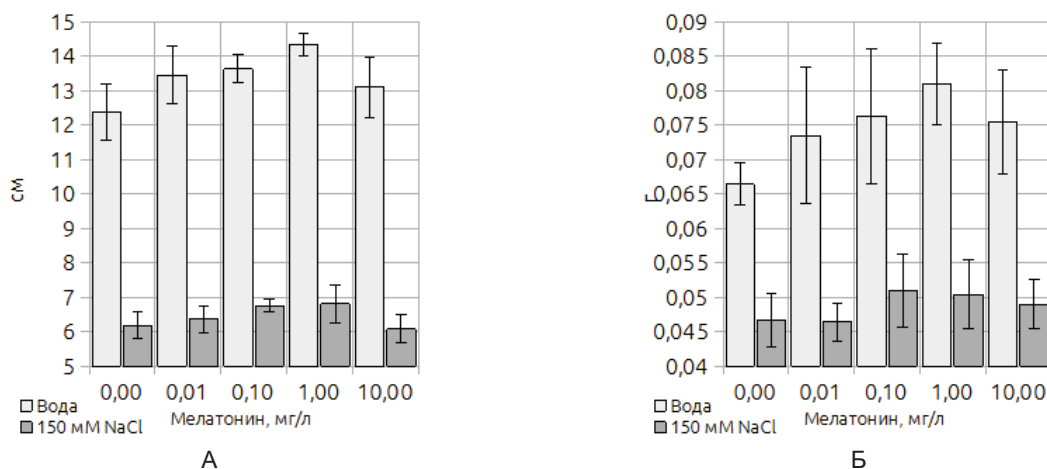


Рис. 2. Средняя длина (А) и суммарная воздушно-сухая масса (Б) корней 10 проростков пшеницы
Fig. 2. Mean length (A) and total air-dry mass (B) of roots of 10 wheat sprouts

Значения воздушно-сухой массы в контроле на нейтральном и засоленном фонах составили соответственно $0,066 \pm 0,003$ и $0,047 \pm 0,004$ г, а на вариантах с праймингом раствором мелатонина в концентрации 1 мг/л – соответственно $0,081 \pm 0,006$ и $0,050 \pm 0,005$ г. Методом дисперсионного анализа в отношении влияния мелатонина на длину корней была выявлена статистическая значимость в $p = 0,008$ ($HSP_{05} = 1,0$ см), а в отношении влияния на воздушно-сухую биомассу корневой системы статистическая значимость не обнаружена ($p = 0,143$). Как и в случае с длиной надземных вегетативных органов, имеет место высокая корреляция между линейными размерами и массой корневой системы ($r = 0,94$).

Наиболее точную информацию о преимущественном влиянии мелатонина на рост надземных или подземных вегетативных органов можно получить из анализа соотношения биометрических показателей между собой. На засоленном фоне соотношение средней длины и воздушно-сухой массы надземных вегетативных органов к длине и массе корней значительно возрастало по сравнению с нейтральным фоном и приближалось практически к 1 (рис. 3, табл. 2). Иными словами, стресс, вызванный засолением, в большей степени ингибирует рост и развитие корневой системы, нежели надземных побегов.

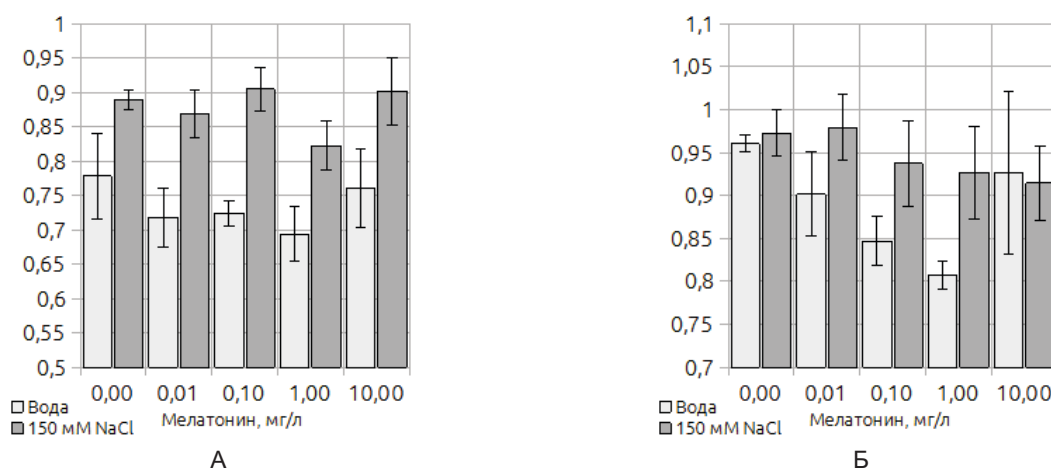


Рис. 3. Соотношение длин надземных вегетативных органов и корней (А) и соотношение воздушно-сухих масс надземных вегетативных органов и корней (Б) у 10 проростков пшеницы
Fig. 3. Ratio of the lengths of aboveground vegetative organs and roots (A) and ratio of air-dry masses of aboveground vegetative organs and roots (B) of 10 wheat sprouts

По мере роста концентрации рабочего раствора мелатонина, примененного на засоленном фоне, наблюдалось слабо выраженное снижение соотношения размеров надземных вегетативных органов к корням. Наиболее отчетливо это было видно на примере соотношения воздушно-сухих масс, где корреляция этого показателя с концентрацией рабочего раствора мелатонина составила $r = -0,39$ при уровне значимости коэффициента корреляции $p = 0,099$. На нейтральном фоне оба описываемых показателя находились в U-образной зависимости с концентрацией рабочего раствора мелатонина с минимумом на варианте 1 мг/л. Дисперсионный анализ показал, что уровень значимости влияния мелатонина на соотношение длин надземных вегетативных органов и корней составил $p = 0,027$ ($HCP_{05} = 0,07$), а на соотношение воздушно-сухих масс – соответственно $p = 0,013$ ($HCP_{05} = 0,08$). Из этого следует, что на нейтральном фоне при значе-

ниях соотношений длин и масс надземных вегетативных органов и корней в контроле в 0,78 и 0,96, обнаружилось статистически значимые различия с вариантом, где применялся раствор мелатонина 1 мг/л. Здесь значения соотношений длин и масс составляли соответственно 0,69 и 0,81. В то же время на засоленном фоне разницы между контролем и любыми другими вариантами не превышают соответствующих значений HCP_{05} . Таким образом, на фоне засоления ростостимулирующее действие мелатонина в отношении корневой системы снижается.

Интерес представляет динамика влажности вегетативных органов проростков пшеницы. Гипертонический раствор стимулирует отток жидкости из цитоплазмы во внешнюю среду по градиенту концентрации. В контрольном варианте влажность вегетативных органов на засоленном варианте была существенно ниже, чем на нейтральном фоне (рис. 4, табл. 2).

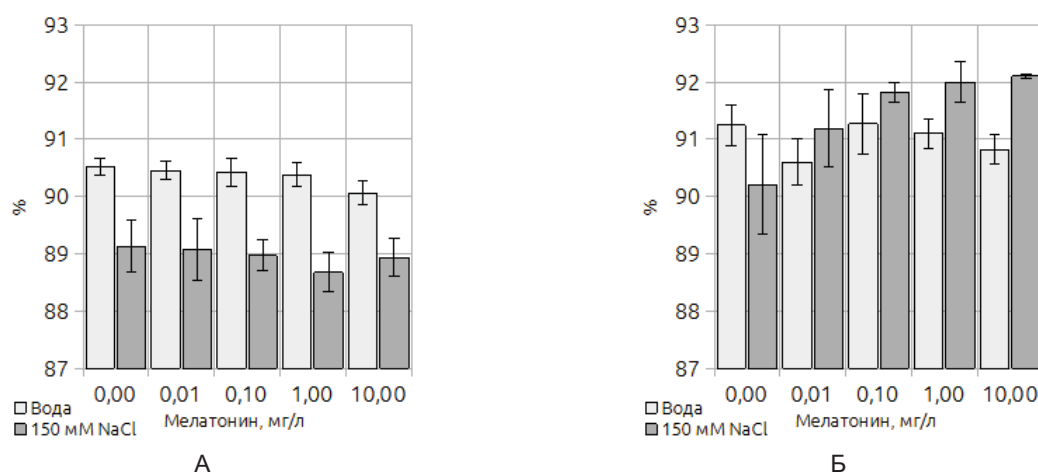


Рис. 4. Влажность надземных вегетативных органов (А) и корней (Б) проростков пшеницы
Fig. 4. Humidity of aboveground vegetative organs (A) and roots (B) of wheat sprouts

Влияние мелатонина на влажность надземных вегетативных органов и корней проявилось по-разному. Так, на нейтральном фоне отмечена сильная обратная корреляция между влажностью надземных вегетативных органов и концентрацией рабочего раствора мелатонина: $r = -0,69$; $p < 0,01$. На засоленном фоне эта корреляция отсутствовала: $r = -0,08$. В отношении размеров корней ситуация была обратная – коэффициент корреляции между концентрацией рабочего раствора мелатонина и влажностью корней на нейтральном фоне составлял $r = -0,23$, однако при $p = 0,267$ его нельзя рассматривать как статистически значимый. А на засоленном фоне корреляция уже была положительная и составляла $r = 0,43$ при уровне значимости $p = 0,068$. При этом на вариантах с концентрациями мелатонина в диапазоне 0,1–10 мг/л влажность корневой системы на фоне засоления была на 0,6–1,3 % выше, чем на нейтральном фоне. Таким образом, на основании проведенного анализа правомерно предположить, что мелатонин способствует

удержанию влаги внутри клеток корневой системы в условиях избыточного засоления.

Достоверность полученных результатов подтверждается литературными данными. В опыте на водной культуре в условиях засоления обработка семян хлопка раствором мелатонина концентрацией 200 мкМ (47 мг/л) привела к увеличению сырой массы надземных вегетативных органов на 36 %, а корневой системы – на 48 % (Jiang et al., 2021). В аналогичном модельном опыте по изучению влияния избыточного засоления на прорастание семян пшеницы было показано снижение лабораторной всхожести семян со 100 % в контроле до 72 % на фоне раствора хлорида натрия 200 мМ. При обработке семян раствором мелатонина 200 мкМ путем замачивания наблюдалось повышение всхожести до 92%. При этом средняя высота проростков на контроле составила 15,98 см, на засоленном фоне – 4,25 см, а на фоне обработки семян мелатонином – 10,16 см (Wang et al., 2022). В исследовании на семенах огурца показано увеличение всхожести

семян на засоленном фоне (150 мМ NaCl) после прайминга семян мелатонином в концентрациях до 100 мкМ (25 мг/л) (Zhang et al., 2014).

Выводы. Базирясь на анализе данных, полученных в результате исследования влияния прайминга семян растворами мелатонина в различных концентрациях на нейтральном и засоленном фонах на прорастание и рост проростков яровой пшеницы сорта Дарья, можно сделать следующие выводы.

1. В рамках проведенного эксперимента прайминг семян мелатонином с применением рабочих растворов с концентрацией 0,1–10 мг/л повышал показатели всхожести семян на засоленном фоне с 88,3 до 91,7–96,7 %.

2. Мелатонин оказывает ростостимулирующее действие на проростки пшеницы. При этом более сильный эффект наблюдается

в отношении корневой системы. Применение раствора мелатонина концентрацией 10 мг/л повысило сухую массу надземных вегетативных органов на 9,1 %, а применение раствора мелатонина 1 мг/л повысило на сухую массу корневой системы на 21,9 %

3. Ростостимулирующий эффект мелатонина на засоленном фоне выражен слабее, чем на нейтральном фоне. Прирост биомассы надземных вегетативных органов и корней на вариантах с засоленным фоном меньше на 25,9–37,8 % по сравнению с нейтральным фоном.

4. Применение мелатонина для прайминга семян способствует удержанию воды в клетках корней проростков пшеницы в условиях выращивания на засоленном фоне.

Библиографические ссылки

1. Минеев В. Г., Сычев В. Г., Гамзиков Г. П. Агрохимия. Учебник. М.: Изд-во ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
2. Arnao M. B., Hernández-Ruiz J. Is Phytomelatonin a New Plant Hormone? // *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 1. С. 95. DOI: 10.3390/agronomy10010095
3. EL Sabagh A., Islam M. S., Skalicky M., Ali Raza M., Singh K. Salinity Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Changing Climate: Adaptation and Management Strategies // *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. DOI: 10.3389/fagro.2021.661932
4. Jiang D., Lu B., Duan W., Meng Y., Li J., Zhang K., Sun H., Zhang Y., Dong H., Bai Z., Li C. Exogenous melatonin improves the salt tolerance of cotton by removing active oxygen and protecting photosynthetic organs // *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21, № 1. Article number: 331. DOI: 10.1186/s12870-021-03082-7
5. Murch S. J., Erland L. A. E. A Systematic Review of Melatonin in Plants: An Example of Evolution of Literature // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.683047
6. Rajora N., Vats S., Raturi G., Thakral V., Kaur S., Rachappanavar V., Kumar M., Kesarwani A. K., Sonah H., Sharma T. R., Deshmukh R. Seed priming with melatonin: A promising approach to combat abiotic stress in plants // *Plant Stress*. 2022. Vol. 4, Article number: 100071. DOI: 10.1016/j.stress.2022.100071
7. Seleiman M., Aslam M., Alhammad B., Maqbool R., Chattha M., Khan I., Gitari H., Uslu O., Roy R., Battaglia M. Salinity Stress in Wheat: Effects, Mechanisms and Management Strategies // *PHYTON*. 2021. Vol. 91, № 4. P. 667–694. DOI: 10.32604/phyton.2022.017365
8. Shibaeva T., Markovskaya E., Mamaev A. Phytomelatonin: A Review // *Biology Bulletin Reviews*. 2018. Vol. 8. P. 375–388. DOI: 10.1134/S2079086418050080
9. Wang J., Lv P., Yan D., Zhang Z., Xu X., Wang T., Wang Y., Peng Z., Yu C., Gao Y., Duan L., Li R. Exogenous Melatonin Improves Seed Germination of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salt Stress // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, № 15. Article number: 8436. DOI: 10.3390/ijms23158436
10. Zhang H.-J., Zhang N., Yang R.-C., Wang Li., Sun Q.-Q., Li D.-B., Cao Y.-Y., Weeda S., Zhao B., Ren S., Guo Y.-D. Melatonin promotes seed germination under high salinity by regulating antioxidant systems, ABA and GA4 interaction in cucumber (*Cucumis sativus* L.) // *Journal of Pineal Research*. 2014. Vol. 57, № 3. P. 269–279. DOI: 10.1111/jpi.12167

References

1. Mineev V. G., Sychev V. G., Gamzikov G. P. Agrokhimiya. Uchebnik [Agrochemistry. Textbook]. M.: Izd-vo VNIIA im. D. N. Pryanishnikova, 2017. 854 s.
2. Arnao M. B., Hernández-Ruiz J. Is Phytomelatonin a New Plant Hormone? // *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 1. С. 95. DOI: 10.3390/agronomy10010095
3. EL Sabagh A., Islam M. S., Skalicky M., Ali Raza M., Singh K. Salinity Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Changing Climate: Adaptation and Management Strategies // *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. DOI: 10.3389/fagro.2021.661932
4. Jiang D., Lu B., Duan W., Meng Y., Li J., Zhang K., Sun H., Zhang Y., Dong H., Bai Z., Li C. Exogenous melatonin improves the salt tolerance of cotton by removing active oxygen and protecting photosynthetic organs // *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21, № 1. Article number: 331. DOI: 10.1186/s12870-021-03082-7
5. Murch S. J., Erland L. A. E. A Systematic Review of Melatonin in Plants: An Example of Evolution of Literature // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.683047
6. Rajora N., Vats S., Raturi G., Thakral V., Kaur S., Rachappanavar V., Kumar M., Kesarwani A. K., Sonah H., Sharma T. R., Deshmukh R. Seed priming with melatonin: A promising approach to combat abiotic stress in plants // *Plant Stress*. 2022. Vol. 4, Article number: 100071. DOI: 10.1016/j.stress.2022.100071
7. Seleiman M., Aslam M., Alhammad B., Maqbool R., Chattha M., Khan I., Gitari H., Uslu O., Roy R., Battaglia M. Salinity Stress in Wheat: Effects, Mechanisms and Management Strategies // *PHYTON*. 2021. Vol. 91, № 4. P. 667–694. DOI: 10.32604/phyton.2022.017365

8. Shibaeva T., Markovskaya E., Mamaev A. Phytomelatonin: A Review // *Biology Bulletin Reviews*. 2018. Vol. 8. P. 375–388. DOI: 10.1134/S2079086418050080
9. Wang J., Lv P., Yan D., Zhang Z., Xu X., Wang T., Wang Y., Peng Z., Yu C., Gao Y., Duan L., Li R. Exogenous Melatonin Improves Seed Germination of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salt Stress // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, № 15. Article number: 8436. DOI: 10.3390/ijms23158436
10. Zhang H.-J., Zhang N., Yang R.-C., Wang Li., Sun Q.-Q., Li D.-B., Cao Y.-Y., Weeda S., Zhao B., Ren S., Guo Y.-D. Melatonin promotes seed germination under high salinity by regulating antioxidant systems, ABA and GA4 interaction in cucumber (*Cucumis sativus* L.) // *Journal of Pineal Research*. 2014. Vol. 57, № 3. P. 269–279. DOI: 10.1111/jpi.12167

Поступила: 20.06.24; доработана после рецензирования: 15.08.24; принята к публикации: 22.08.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Мухина М. Т. – концептуализация и проектирование исследования, подготовка рукописи; Шаповал О. А. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Боровик Р. А. – концептуализация и проектирование исследования, выполнение лабораторных опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Коршунов А. А. – выполнение лабораторных опытов, сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЩЕСТВЕННЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ЭТАЛОННОГО ОБРАЗЦА СОРГО ЗЕРНОВОГО

В. Ф. Хлыстунов^{1,2}, доктор технических наук, ученый секретарь по механизации и электрификации; профессор кафедры технологии и оборудования переработки продукции АПК, vniptim@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8476-9663

В. В. Ковтунов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

²ВГОУ ВО Донской государственный технический университет,

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 2; e-mail: donstu.ru

Выбор по результатам селекции перспективных сортов сорго зернового осложнен тем, что необходимо учесть 49 присущих ему признаков (идентификаторов). Эта многокритериальная задача сравнения в настоящее время не имеет ни теоретического, ни однозначного практического решения, что и обусловило актуальность данного исследования. Цель исследования – определить существенные признаки (идентификаторы) и их научно обоснованную балльную оценку эталонного образца сорго зернового на основе метода экспертных оценок. По результатам проведения экспертизы оценки с привлечением ведущих специалистов по селекции сорго зернового выполнили ранговую оценку 26 признаков из 49, предусмотренных действующим международным классификатором, которые можно количественно оцифровать и которые отражают биологические свойства, морфологические дескрипторы сорта, его урожайность, устойчивость к болезням, химический состав и др. После процедуры ранжирования, оценки репрезентативности выборки, согласованности мнений экспертов и неслучайности их согласованности, используя оригинальную авторскую программу для ЭВМ, по интегральной функции накопленных частот каждого ранжированного признака осуществили структурирование совокупности статистического материала (ранговой оценки). В результате выделили 13 существенных (наиболее значимых) оценочных признаков сорго зернового, составивших 64,1 % по ранговой и 50 % по количественной значимости. Для них установили шкалу оценочных показателей исходя из их ранговой значимости по 100-балльной шкале для эталонного образца сорго зернового (сорт Зерноградское 88 селекции «АНЦ «Донской»). По данным определения весомости соответствующих признаков в натуральном выражении сравниваемых и эталонного образцов, а также их балльной оценки у эталона, определили балльную оценку соответствующего признака у сравниваемых образцов и комплексных показателей оценки. Комплексный показатель для сравниваемых образцов сортов Атаман и Есаул селекции «АНЦ «Донской» рассчитали в соответствии со взвешенной долей каждого индекса относительно эталонного. Их количественная комплексная оценка составила 111,43 и 101,93 балла соответственно. Таким образом, эти сорта превышают эталон по комплексу признаков соответственно на 111,43 и 101,93 %.

Ключевые слова: сорго зерновое, ранговая оценка, селекция, сорт, эксперт, балл, признак, структуризация.

Для цитирования: Хлыстунов В. Ф., Ковтунов В. В. Результаты определения существенных селекционных признаков эталонного образца сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 5. С. 13–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-13-20.



RESULTS OF DETERMINING ESSENTIAL BREEDING TRAITS OF A STANDARD GRAIN SORGHUM SAMPLE

V. F. Khlystunov^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary for mechanization and electrification; professor of the department of technologies and equipment for processing of AIC products; vniptim@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8476-9663

V. V. Kovtunov¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University"

344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 2

The selection of promising grain sorghum varieties according to the breeding results is complicated by the fact that it is necessary to take into account 49 characteristics (identifiers). This essentially multi-criteria comparison problem currently has neither a theoretical nor an unambiguous practical solution, which determines the relevance of the current study. The purpose of the study was to identify the essential characteristics (identifiers) and their scientifically based scoring of a standard grain sorghum sample based on the method of expert estimations. Based on the results of the expert estimation including leading specialists in grain sorghum breeding, there have been ranked 26 traits out of 49, provided for by the current international classifier, which can be quantitatively digitized and which also reflect biological properties, morphological descriptors of the variety, its productivity, resistance to diseases, chemical composition, etc. After conducting a ranking procedure, estimation of the representativeness of the selection, the con-

sistency of expert opinions and the non-accidentality of their agreement, there was carried out a structuring of the totality of statistical material (rank estimation) according to the integral function of the accumulated frequencies of each ranked feature's appearance using the original author's computer program. As a result, there have been identified 13 significant (most significant) estimation traits of grain sorghum, amounting to 64.1 % in terms of ranking and 50 % in terms of quantitative significance. There was set up an estimation scale for them, based on their rank significance on a 100-point scale for the standard grain sorghum sample ("Zernogradskoe 88" developed by the "ARC "Donskoy"). Based on the data of determining the significance of the corresponding traits in physical terms of the compared and standard samples, as well as its score rating for the standard, there was established a point rating of the corresponding traits for the compared samples and complex estimation indicators as their sum. The complex indicator for the compared samples of the varieties 'Ataman' and 'Esaul' developed by the "ARC "Donskoy" was calculated in accordance with the share of each index relative to the standard one. Their quantitative comprehensive estimation was 111.43 and 101.93 points, respectively. Thus, these varieties exceeded the standard for a set of traits by 111.43 and 101.93 %, respectively.

Keywords: grain sorghum, ranking estimation, breeding, variety, expert, score, trait, structuring.

Введение. Изменение погодно-климатических условий, а именно снижение количества осадков в весенне-летний период в южных регионах Российской Федерации (Попов и др., 2012), является одним из значимых факторов, без учета, которого невозможно эффективно осуществлять сельскохозяйственное производство.

Сорго является одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур прежде всего из-за высокой устойчивости к высоким температурам и засухе (Gitz III et al., 2019). Оно возделывается в 86 странах и по посевной площади занимает пятое место в мире после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя (Fantaye, 2018; Boyles et al., 2019; Kovtunov et al., 2021).

Несмотря на ценные биологические особенности, в России сорго занимает незначительные посевные площади. Согласно данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (URL: <https://www.fedstart.ru>) в последние годы (2012–2021 гг.) площадь посева сорго в России не превышает 228,7 тыс. га, а в отдельные годы снижается до 54,7 тыс. га. В зонах недостаточного увлажнения Российской Федерации сорго должно стать основной культурой, повышающей продуктивность севооборотов.

Недостаточное распространение данной культуры в нашей стране, наряду с другими причинами, обусловлено дефицитом раннеспелых высокоурожайных сортов и гибридов с высоким качеством зерна и адаптированных к почвенно-климатическим условиям зоны выращивания.

Давно известно, что выбор перспективной селекционной линии любой сельскохозяйственной культуры, в том числе и сорго зернового, связан с необходимостью ее оценки по множеству качественных и количественных признаков (критериев, идентификаторов), а их у этой культуры 49. Поэтому выбор наилучшей линии представляет, по сути, многокритериальную задачу сравнения, которая, в отличие от многокритериальных задач оптимизации процессов и явлений, для которых разработано (Подиновская и Подиновский, 2014; Кротченко и др., 2017; Тертерян и Бровко, 2022) достаточное количество способов, методов и программного обеспечения, до последнего

времени не имеет ни теоретического, ни экспериментального решения. В работе Khlystunov et al. (2023) предложена методика комплексной оценки результатов селекции на примере озимого ячменя, основанной на учете весомости каждого из существенных признаков и его отклонения от соответствующего признака эталонного образца по результатам их экспертной оценки. В настоящей работе приведены результаты диверсификации этой методики применительно к культуре сорго зернового.

Цель исследования – определить существенные признаки (идентификаторы) и их научно обоснованную балльную оценку эталонного образца сорго зернового на основе метода экспертных оценок.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в «АНЦ «Донской» Ростовской области.

Объект исследования – процесс многокритериальной оценки результатов селекционной работы по созданию новых сортов сорго зернового.

Предмет исследования – статистический массив ранговой оценки совокупности признаков возделывания сорго зернового.

При определении оценочной шкалы эталонного сорта сорго зернового (Зерноградское 88) использовали элементы методики комплексной оценки результатов селекции сельскохозяйственных растений на примере озимого ячменя (Khlystunov et al., 2023).

При этом в соответствии с Широким унифицированным классификатором СЭВ видов рода SORGHUM MOENCH (1982) из 49 возможных признаков для дальнейшей экспертной оценки оставили то их количество (26), которое можно оцифровать. После их рандомизации провели анкетирование ведущих специалистов-селекционеров (эксперты: доктор сельскохозяйственных наук из ФГБНУ «АНЦ «Донской», а также кандидаты сельскохозяйственных наук из ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», Поволжского НИИСС филиала СамНЦ РАН, Башкирского НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН, Института «Агротехнологическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», ФНЦ агроэкологии РАН) в направлении сорго зернового, оценили репрезентативность вы-

борки по количеству разосланных анкет (8) и полученных обратно (6). Проверили результаты ранговой оценки признаков на сходимость мнения экспертов по критерию Кендалла и неслучайность их сходимости по критерию Пирсона. После проведения процедуры структуризации статистического массива ранговой оценки для дальнейшего рассмотрения оставили наиболее значимые признаки, которых оказалось 13.

В конечном счете в соответствии с Khlystunov et al. (2023) определили взвешенную долю ранговой оценки каждого признака к сумме ранговой оценки всех признаков и выраженную в процентах, которая трансформирована в баллы из расчета 100-балльной шкалы на все признаки для эталонного образца.

Расчет соответствующего значения признака для сравниваемого образца рассчитали через оценку в баллах для эталонного образца и отношение его значений в оцифрованном виде у сравниваемого и эталонного образцов.

Результаты и их обсуждение. По данным ранговой оценки шестью экспертами (табл. 1) 26 идентификаторов оценки результатов селекции сорго зернового определили репрезентативность выборки числа экспертов, проверили

согласованность их мнения и неслучайность их согласованности.

Репрезентативность выборки числа экспертов в случае, если объем выборки сопоставим с объемом генеральной совокупности, определили по формуле:

$$n_{PB} = \frac{Z^2 P q \Delta^{-2}}{1 + \frac{Z^2 P q \Delta^{-2} - 1}{N_{2b}}}, \quad (1)$$

где Z – нормированное отклонение при принятой доверительной вероятности, численно равное 1,96; P – доверительная вероятность, численно равная 0,95; Δ – допустимая ошибка, численно равная 0,1; N_{2b} – объем генеральной выборки (число разосланных опросных анкет), численно равный 8; q – уровень значимости, определяемый как

$$q = 1 - P. \quad (2)$$

С учетом принятых значений и формулы (2) расчетное значение репрезентативного числа экспертов составило 5,78. После округления получили 6.

Таблица 1. Данные идентификаторов оценки результатов селекции сорго зернового
Table 1. Data of estimation identifiers of the results of grain sorghum breeding

№ п/п в анкете	Идентификатор оценки, u_i	Эксперт, x_i					
	Наименование идентификатора	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Устойчивость к поражаемости красным бактериозом	22	10	17	21	21	6
2	Устойчивость к поражаемости пыльной головней	23	9	11	20	23	13
3	Содержание лизина в белке	4	8	2	25	3	14
4	Высота растения после созревания	18	25	22	9	7	12
5	Устойчивость к поражаемости твердой головней	20	7	18	19	22	5
6	Устойчивость к осыпанию	19	21	21	10	24	23
7	Содержание жира в зерне	3	4	3	23	5	16
8	Длина подметельчатого междоузлия	16	11	9	1	12	7
9	Количество зерен в метелке	15	5	23	14	8	21
10	Устойчивость к низкой температуре при прорастании семян	24	22	1	17	20	11
11	Продолжительность периода вегетации «всходы–полная спелость» (интервал между нормативной и фактической)	25	26	26	16	25	25
12	Длина соцветия	17	6	15	4	9	17
13	Ширина листа (в среднем ярусе)	9	1	14	5	2	3
14	Масса метелки с зерном	13	20	24	12	14	24
15	Урожайность зерна	26	23	25	15	26	26
16	Масса 1000 зерен	14	16	19	13	15	22
17	Устойчивость к поражаемости злаковой тлей	21	14	5	18	19	1
18	Окраска зерновки (основной тон)	2	15	16	2	6	2
19	Выдвинутость ножки метелки	12	24	10	3	13	19
20	Содержание крахмала в зерне	5	18	4	24	11	15
21	Длина листа (в среднем ярусе)	10	2	12	6	1	3
22	Пленчатость зерна	8	3	20	11	18	4
23	Содержание танина в зерне (интервал между нормативным и фактическим)	7	17	13	22	17	20
24	Число листьев на растении	11	13	8	7	4	9
25	Продуктивная кустистость	1	12	7	8	16	10
26	Содержание сырого белка в зерне	6	19	6	26	10	18

То есть число экспертов в количестве 6 человек для генеральной выборки из 8 экспертов вполне репрезентативно.

Согласованность мнения экспертов определили (Наследов, 2020) по критерию Кендалла (коэффициенту конкордации):

$$W_{\text{расч.}} = \frac{12 \sum_{i=1}^K (\sum_{j=1}^m Y_{ij} - \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^m Y_{ij})^2}{m^2 (K^3 - K)}, \quad (3)$$

где m – количество j -х экспертов; K – количество i -х факторов (идентификаторов) оценки; Y_{ij} – значение ранговой оценки i -го фактора у j -го эксперта.

Численное значение коэффициента конкордации составило 0,39.

В соответствии с разработкой Хлыстунов и др. (2023) лингвистической переменной уро-

вень согласованности мнений экспертов вполне достаточный (умеренный) при 100%-й вероятности.

Расчетное значение (Наследов, 2020) критерия Пирсона рассчитали по формуле

$$\chi^2_{\text{расч.}} = m(K-1)W_{\text{расч.}}, \quad (4)$$

и оно составило 58,635, что более чем в 1,5 раза превысило его табличное значение (Горелик и Шерстюков, 2020) при числе степеней свободы $f = 25$ ($f = K - 1$) и значимости 0,01. Таким образом, согласованность мнений экспертов неслучайна.

С учетом вышеизложенного, используя программное обеспечение (Свид. 202369614), диаграмму ранговой оценки идентификаторов (признаков) получили в следующем виде (рис. 1).

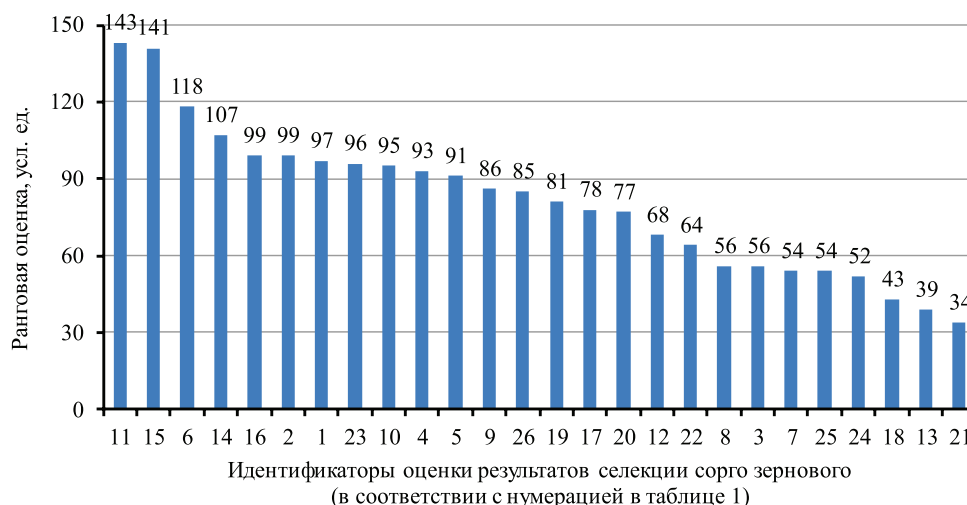


Рис. 1. Диаграмма ранговой оценки идентификаторов, учитываемых при анализе результатов селекции сорго зернового
Fig. 1. Diagram of the ranking estimation of identifiers taken into account when analyzing the results of grain sorghum breeding

По результатам структурирования полученного статистического материала на основе анализа интегральной эмпирической функции распределения накопленных частот по специально разработанной программе (Свид. 2023667053) для ЭВМ установили (рис. 2), что доля существенных (наиболее значимых) идентификаторов сформирована из 13 оценочных признаков результатов селекции сорго зернового. Это продолжительность периода вегетации, урожайность, устойчивость к осыпанию, масса метелки с зерном, масса 1000 зерен, устойчивость к поражаемости пыльной головней, устойчивость к поражаемости красным бактериозом, содержание танина в зерне, устойчивость к низкой температуре при проращивании семян, высота растения после созревания, устойчивость к поражаемости пыльной головней, количество зерен в метелке, содержание сырого белка в зерне. На их долю по количеству приходится 50,00 % из общей сово-

купности и 64,01 % по ранговой значимости. Группу малосущественных признаков составили 6 признаков. В соответствии с нумерацией в таблице 1 это 19, 17, 20, 12, 22 и 8-й признаки.

Далее определили в соответствии с методикой, подробно изложенной в Khlystunov et al. (2023), шкалу баллов по существенным признакам для эталонного образца.

$$B_{ic} = \frac{R_{ic} * 100\%}{\sum_{i=1}^{K_c} R_{ic}}, \quad (5)$$

где R_{ic} – ранговая оценка i -го существенного признака, усл. ед.; K_c – количество существенных признаков, численно равное 13.

Для дальнейших расчетов приняли 100-балльную шкалу оценки, по сумме равную процентному соотношению признаков в совокупности существенных признаков (идентификаторов).

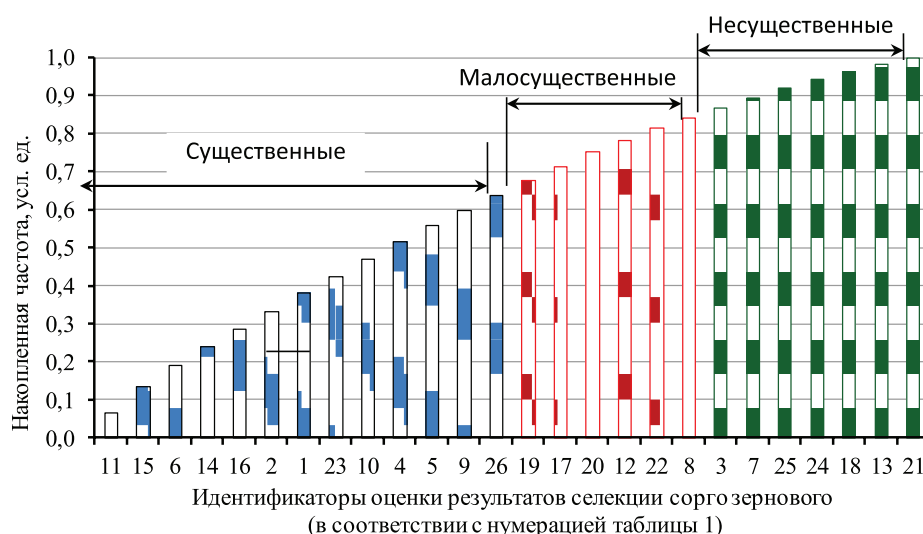


Рис. 2. Диаграмма интегральной функции накопленных частот доли значения каждого идентификатора в общей совокупности

Fig. 2. Diagram of the integral function of the accumulated frequencies of the fraction the values of each identifier in total

В конечном счете комплексный показатель оценки сравниваемого сорта сорго зернового с эталонным сортом рассчитали как

$$B_{\Sigma C} = \sum_{i=1}^{K_C} B_{iC}' * \frac{B_{icp}}{B_{i\Theta}}, \quad (6)$$

где B_{iC} – оценка в баллах i -го признака у эталонного сорта сорго зернового, балл; B_{icp} , $B_{i\Theta}$ – значение в абсолютном оцифрованном выражении

соответственно i -го признака сравниваемого сорта и соответствующего i -го признака эталонного сорта.

В качестве реализации вышеизложенного использовали данные по трем сортам сорго зернового селекции «АНЦ «Донской». Это Зерноградское 88 (эталон), Атаман и Есаул.

Результаты расчета свели в таблицу 2. В этой таблице b_i соответствует второму множителю из формулы (6).

Таблица 2. Данные комплексной оценки результатов селекции сорго зернового
Table 2. Data of the comprehensive estimation of the results of grain sorghum breeding

№ п/п	Наименование признаков, размерность	Наименование сорта								
		Зерноградское 88 (эталон)			Атаман			Есаул		
		R_{ic}	B_{ic}	B_{icp}	B_{icp}	δ_i	$B_{ic}\delta_i$	B_{icp}	δ_i	$B_{ic}\delta_i$
1	Продолжительность периода вегетации (интервал между нормированной и фактической продолжительностью), дн.	143	10,59	96(4)	94(6)	1,50	15,89	99(1)	0,25	2,65
2	Урожайность, т/га	141	10,44	5,30	5,60	1,06	11,03	6,20	1,17	12,21
3	Устойчивость к осыпанию, %	118	8,74	100	96	0,96	8,39	98	0,98	8,57
4	Масса метелки с зерном, г	107	7,93	49,50	52,60	1,06	8,43	56,90	1,15	9,12
5	Масса 1000 зерен, г	99	7,33	29,30	28,10	0,96	7,03	27,40	0,94	6,85
6	Устойчивость к поражаемости пыльной головней, %	99	7,33	96	97	1,01	7,41	100	1,04	7,64
7	Устойчивость к поражаемости красным бактериозом, %	97	7,19	95,50	94,50	0,99	7,11	98,50	1,03	7,42
8	Содержание танина в зерне (интервал между нормированным и фактическим значением), %	96	7,11	0,17 (0,33)	0,12 (0,88)	1,15	8,19	0,05 (0,45)	1,36	9,70
9	Устойчивость к низкой температуре при прорастании семян, %	95	7,04	78,70	85,70	1,09	7,67	89,20	1,13	7,98
10	Высота растения после созревания, см	93	6,89	96	128	1,33	9,19	112	1,17	8,04
11	Устойчивость к поражаемости пыльной головней, %	91	6,74	96	97	1,01	6,81	100	1,04	7,02
12	Количество зерен в метелке, шт.	86	6,37	1430	1600	1,12	8,13	1950	1,36	8,69
13	Содержание сырого белка в зерне, %	85	6,30	12,20	11,90	0,98	6,15	11,70	0,96	6,04
Итого		1350	100,00	–	–	–	111,43	–	–	101,93

По данным таблицы 2 построили диаграмму комплексной оценки приведенных сортов сорго зернового (рис. 3).

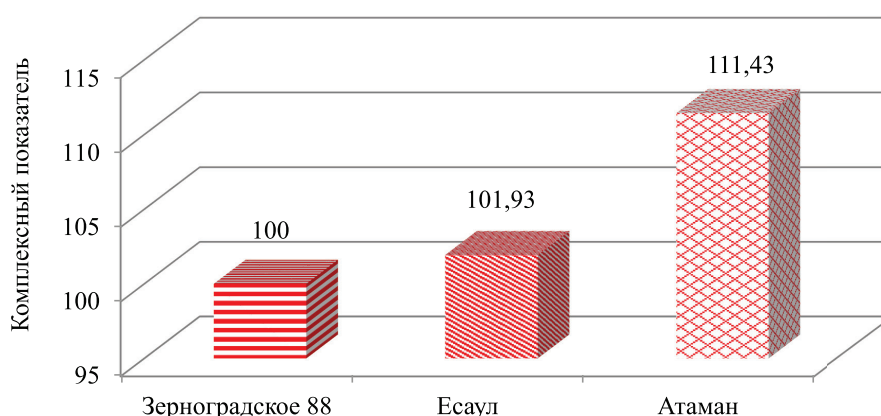


Рис. 3. Диаграмма комплексной оценки сорго зернового
Fig. 3. Diagram of the comprehensive estimation of grain sorghum

Выводы. В результате диверсификации методики сравнительной оценки результатов селекции озимого ячменя применительно к культуре сорго зернового установлена 100-балльная оценочная шкала для его эталонного образца (Зерноградское 88).

Шкала представлена 13 существенными признаками, установленными в результате структурирования статистического массива ранговой оценки отдельных признаков сорго зернового, на долю которых приходится 64,01 % по ранговой значимости.

В результате наложения результатов исследования при сравнительной оценке сортов сорго зернового селекции «АНЦ «Донской» установлено, что сорт Есаул эффективнее эталонного сорта на 1,93 %, а сорт Атаман – на 11,43 %.

В данной работе использован метод структурирования статического массива величин идентификаторов, разработанный В.Ф. Хлыстуновым в соавторстве с Н.А. Коптевой и позволяющий выделить из широкого круга процессов и явлений существенную, малосущественную и несущественную составляющие. Это позволило впервые, в частности в растениеводстве, реализовать идею по разработке методики сравнительной оценки результатов селекции озимого ячменя, а в представленной работе и сорго зернового, по комплексному показателю как суммы научно обоснованной взвешенной балльной оценки существенных признаков (идентификаторов) для каждой из этих сельскохозяйственных культур.

Библиографические ссылки

1. Горелик А. В., Шерстюков О. В. Анализ уровня достоверности информации в информационных системах хозяйства автоматизации и телемеханики на основе метода экспертных оценок // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 5(2). С. 179–183. DOI: 10.17513/snt.39167
2. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstart.ru>. (дата обращения: 05.06.24).
3. Кротченко А. Г., Кулагина Е. А., Сморякова В. Н. Введение в многокритериальную оптимизацию: учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2017. 55 с.
4. Наследов, А. Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интеграция данных: учебное пособие. Санкт-Петербургский ун-т ИТМО, 2020. 64 с.
5. Подиновская О. В., Подиновский В. В. Анализ иерархических многокритериальных задач принятия решений методами теории важности критериев // Проблемы управления. 2014. № 6. С. 2–8.
6. Попов А. С., Янковский Н. Г., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Кравченко М. Е. Особенности погодных условий в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2012. № 3(21). С. 56–59.
7. Свид. 202369614. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа определения весовости признаков при анализе различных предметных областей / Димитров В. П., Хлыстунов В. Ф., Борисова Л. В., Черняев А. Т.; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет (ДГТУ)» (RU). № 2023669614; заявл. 29.08.2023; опубл. 18.09.2023. Бюл. № 9. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
8. Свид. 2023667053. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для структурирования статистического массива величин идентификатора / Хлыстунов В. Ф., Коптева Н. А., Димитров В. П. и др.; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» (RU). № 2023667053; заявл. 06.06.2023; опубл. 09.08.2023. Бюл. № 8. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

9. Тертерян А. С., Бровко А. В. Методы оптимизации многокритериальных задач с использованием локальной качественной важности критериев // Моделирование системы и процессов. 2022. Т. 15, № 1. С. 107–114.
10. Хлыстунов В. Ф., Димитров В. П., Борисова Л. В. Выбор значимых факторов по результатам психологического эксперимента на примере исследования процесса измельчения листостебельной массы // Вестник аграрной науки Дона. 2023. Т. 16, № 4(64). С. 1–4. DOI: 10.55618/20756704_2023_16_4_4-12
11. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *SORGHUM MOENCH*. Л.: редакционно-издательский отдел ВИР, 1982. 35 с.
12. Boyles R. E., Brenton Z. W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // The Plant Journal. 2019. Vol. 97. P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
13. Fantaye B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review // J. Advan. Plant Sci. 2018. Vol. 1, Article number: 307.
14. Gitz III D. C., Baker J. T., Xin Z., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multi-seed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106
15. Khlystunov V., Kopteva N., Filippov Y., Udintsova N. Results of the integrated evolution of the winter barley breeding identifiers // E3S Web Conf. 2023. Vol. 431, P. 1–12. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101050
16. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Popov A. S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number: 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007

References

1. Gorelik A. V., Sherstyukov O. V. Analiz urovnya dostovernosti informatsii v informatsionnykh sistemakh khozyaistva avtomatiki i telemekhaniki na osnove metoda ekspernykh otsenok [Analysis of the information reliability level in information systems for automation and telemechanics based on the method of expert estimation] // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2020. № 5(2). S. 179–183. DOI: 10.17513/snt.39167
2. Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema [Unified interdepartmental information and statistical system] [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.fedstart.ru>. (data obrashcheniya: 05.06.24).
3. Krotchenko A. G., Kulagina E. A., Smoryakova V. N. Vvedenie v mnogokriterial'nyuyu optimizatsiyu: uchebno-metodicheskoe posobie [Introduction to multi-criteria optimization: a textbook]. Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii universitet, 2017. 55 s.
4. Nasledov A. D. Matematicheskie metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i integratsiya dannykh: uchebnoe posobie [Mathematical methods of psychological research. Data Analysis and Integration: a textbook]. S.-Peterb. un-t ITMO, 2020. 64 S.
5. Podinovskaya O. V., Podinovskii V. V. Analiz ierarhicheskikh mnogokriterial'nykh zadach prinyatiya reshenii metodami teorii vazhnosti kriteriev [Analysis of hierarchical multicriteria decision-making issues using the methods of the criteria importance theory] // Problemy upravleniya. 2014. № 6. S. 2–8.
6. Popov A. S., Yankovskii N. G., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A., Kravchenko M. E. Osobennosti pogodnykh uslovii v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Features of weather conditions in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2012. № 3(21). S. 56–59.
7. Svid. 202369614. Rossiiskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM. Programma opredeleniya vesomosti priznakov pri analize razlichnykh predmetnykh oblastei [Certif. 202369614. Russian Federation. Certificate of official registration of a computer program. The program for determining the value of features in the analysis of various subject areas] / Dimitrov V. P., Khlystunov V. F., Borisova L. V., Chernyaev A. T.; zayavitel' i pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet (DGTU)» (RU). № 2023669614; zayavl. 29.08.2023; opubl. 18.09.2023. Byul. № 9. Reestr programm dlya EVM. 1 s.
8. Svid. 2023667053. Rossiiskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM. Programma dlya strukturirovaniya statisticheskogo massiva velichin identifikatora [Certif. 2023667053. Russian Federation. Certificate of official registration of a computer program. The program for structuring a statistical array of identifier values] / Khlystunov V. F., Kopteva N. A., Dimitrov V. P. i dr.; zayavitel' i pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie «Agrarnyi nauchnyi tsentr «Donskoi» (RU). № 2023667053; zayavl. 06.06.2023; opubl. 09.08.2023. Byul. № 8. Reestr programm dlya EVM. 1 s.
9. Terteryan A. S., Brovko A. V. Metody optimizatsii mnogokriterial'nykh zadach s ispol'zovaniem lokal'noi kachestvennoi vazhnosti kriteriev [Methods for optimizing multicriteria problems using local qualitative importance of criteria] // Modelirovanie sistemy i protsessov. 2022. Т. 15, № 1. С. 107–114.
10. Khlystunov V. F., Dimitrov V. P., Borisova L. V. Vybor znachimykh faktorov po rezul'tatam psikhologicheskogo eksperimenta na primere issledovaniya protsessa izmel'cheniya listostebel'noi massy [Selection of significant factors based on the results of a psychological experiment using the example of a study of the process of crushing leafy stem mass] // Vestnik agrarnoi nauki Dona. 2023. Т. 16, № 4(64). С. 1–4. DOI: 10.55618/20756704_2023_16_4_4-12
11. Shirokii unifikirovannyi klassifikator SEV i mezhdunarodnyi klassifikator SEV vozdel'yaemykh vidov roda *SORGHUM MOENCH* [A wide unified classifier of COMECON and international classifier of COMECON of cultivated *SORGHUM MOENCH* species]. L.: redaktsionno-izdatel'skii otdel VIR, 1982. 35 s.

12. Boyles R.E., Brenton Z.W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // *The Plant Journal*. 2019. Vol. 97. P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
13. Fantaye, B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review // *J. Advan. Plant Sci*. 2018. Vol. 1, Article number: 307.
14. Gitz III D.C., Baker J.T., Xin Z., Stout J.E., Lascano R.J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multi-seed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // *American Journal of Plant Sciences*. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106
15. Khlystunov V., Kopteva N., Filippov Y., Udintsova N. Results of the integrated evolution of the winter barley breeding identifiers // *E3S Web Conf*. 2023. Vol. 431, P. 1–12. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101050
16. Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., Popov A.S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Article number: 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007

Поступила: 04.07.24; доработана после рецензирования: 07.08.24; принята к публикации: 15.08.24.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Хлыстунов В. Ф. – концептуализация исследований, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Ковтунов В. В. – концептуализация исследований, выполнение опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВЫЙ СОРТ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ САБАН ДЛЯ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

И. Д. Фадеева, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции озимой пшеницы, fad-ir2540@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8453-5437;

Ф. Ф. Курмакаев, научный сотрудник лаборатории селекции озимой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-2217-3060;

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

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

Озимая пшеница в Республике Татарстан ежегодно высевается на площади более 300 тыс. га. Цель нашей работы – создать новый сорт Сабан и охарактеризовать его способность формировать высокие урожайность и качество зерна в условиях северных районов Среднего Поволжья. Исследования проводили в 2020–2022 гг. на полях Татарского НИИСХ – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН. Посев проводили по чистому пару в оптимальные сроки. Сорт Сабан создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной от скрещивания сортов Казанская 285 и Безенчукская 380. В среднем за три года испытаний зимостойкость составила 88 %, а высота растений – 74 см, что на 9,7 см ниже стандартного сорта Казанская 560. Устойчивость к полеганию – 8,7 балла при коэффициенте вариации 6,66 %. Сорт Сабан интенсивного типа, отзывчив на внесение сложных удобрений. Превзошел стандартный сорт Казанская 560 по урожайности на 0,64 т/га. В условиях засухи 2021 г. показал урожайность 4,20 т/га, что на 0,65 т/га больше, чем у стандартного сорта. Этот результат обусловлен густотой продуктивного стеблестоя и большим количеством зерен в колосе. Зерно этого сорта выполнено, его натура составляет 770–802 г/л. Содержание сырого протеина в зерне колеблется от 13,2 до 15,2 %, а клейковины – от 27,0 до 29,7 %. Сорт формирует высокие показатели реологических качеств: сила муки составляет 301 е.а., валориметрическая оценка – 59 %. Общая хлебопекарная оценка за три года изучения составила 4,5 балла. Рекомендуется для возделывания в Средневолжском регионе Российской Федерации с 2024 года.

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность, белок, клейковина, сила муки.

Для цитирования: Фадеева И.Д., Курмакаев Ф.Ф., Идиатова Р.Х. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Сабан для Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 21–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-21-25.



NEW WINTER COMMON WHEAT VARIETY 'SABAN' FOR THE MIDDLE VOLGA REGION

I. D. Fadeeva, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for winter wheat breeding, fad-ir2540@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8453-5437;

F. F. Kurmakaev, researcher of the laboratory for winter wheat breeding, ORCID ID: 0000-0003-2217-3060;

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, Kazan, Orenburgsky Trakt Str., 48

Winter wheat in the Republic of Tatarstan is sown annually on an area of more than 300 K hectares. The purpose of the current work was to develop a new variety 'Saban' and characterize its ability to produce high yields and grain quality in the northern regions of the Middle Volga region. The study was conducted on the fields of the Tatarsky RIA, SSU of the FRC KazRC of RAS in 2020–2022. Seeds were laid in 'black' fallow at the optimal time. The variety 'Saban' was developed by the method of individual selection from a hybrid population obtained from crossing the varieties 'Kazanskaya 285' and 'Bezenchukskaya 380'. On average, over three years of testing, winter resistance was 88 %, and the plant height was 74 cm, which is 9.7 cm lower than that of the standard variety 'Kazanskaya 560'. Lodging resistance was 8.7 points with a coefficient of variation of 6.66 %. The variety 'Saban' is of the intensive type, responsive to the application of complex fertilizers. The variety was better than the standard variety 'Kazanskaya 560' in productivity by 0.64 t/ha. Under arid conditions of 2021 the variety yielded 4.20 t/ha, which was 0.65 t/ha more than the standard variety did. This result was due to the productive stem density and a large number of grains per ear. The variety produced heavy kernels, its nature weight was 770–802 g/l. Crude protein percentage in grain ranged from 13.2 % to 15.2 %, and gluten varied from 27.0 % to 29.7 %. The variety formed high indicators of rheological qualities, such as 301 u.a. of flour strength, and 59 % of valorimetric estimation. The general baking assessment for three years of study was 4.5 points. The variety can be recommended for cultivation in the Middle Volga region of the Russian Federation from 2024.

Keywords: winter wheat, productivity, protein, gluten, flour strength.

Введение. Озимая мягкая пшеница – одна из базовых культур для стратегии развития агропромышленного комплекса (Косенко, 2021). Вместе с яровой пшеницей она играет важную

роль в зернопроизводстве России. Республика Татарстан является одним из крупнейших регионов – производителей зерна, и площади озимой пшеницы здесь превышают 350 тыс. га.

Пшеница с высоким качеством зерна всегда пользовалась спросом. Рост населения и конкуренция на мировом рынке приводят к еще большему его росту. Чем выше содержание белка в зерне, тем выше его питательная ценность. Находящиеся в белке высокомолекулярные субъединицы глютелина напрямую влияют на качество хлеба и хлебобулочных изделий (Miroslavljetic et al., 2020).

Одним из важнейших свойств озимой пшеницы является высокий уровень устойчивости к низким температурам в зимний период. Создание высокозимостойких сортов – сложная задача. Это связано со слабой изученностью генетики морозо- и зимостойкости, многообразием повреждающих факторов, разнообразным сочетанием этих факторов в течение одного вегетационного периода, трудностью соединения в одном генотипе высокого уровня устойчивости к стрессам, продуктивности и короткостебельности (Борадулина и Мусалитин, 2018).

Растения озимой пшеницы должны выдерживать на глубине узла кущения температуру до -18 °C, а также длительное залегание приотертой ледяной корки, негативное влияние возвратных весенних заморозков (Потоцкая и др., 2023). Ученые оценивают роль селекции в повышении продуктивности с учетом нестабильности климата в 30–70 % (Демина и др., 2020). Районирование устойчивых сортов – это эффективный, экономически и экологически оправданный способ защиты растений от патогенов (Manukyan and Miroshnikova, 2022).

Изменения метеоусловий и уровня технического оснащения сельскохозяйственного производства требуют новых подходов к выращиванию сельскохозяйственных культур. Создание высокопродуктивных сортов озимой мягкой пшеницы с ценными признаками и свойствами – основная задача селекционеров на сегодняшний день. Успешное решение этой задачи возможно благодаря широкому вовлечению лучших источников в процесс гибридизации (Иванисов и др., 2022; Косенко, 2021). Цель нашей работы – создать новый сорт Сабан и охарактеризовать его способность формировать высокую урожайность и качество зерна в условиях северных районов Среднего Поволжья.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в питомнике конкурсного сортоиспытания на полях Татарского НИИСХ в 2020–2022 годах. Почва – серая лесная с содержанием гумуса 3,0–3,2 %, (по Тюрину), легкогидролизуемого азота – 128–132 мг/кг; подвижного фосфора (по Кирсанову) – 260–270 мг/кг; калия (по Кирсанову) – 126–132 мг/кг; pH солевой вытяжки – 5,2–5,4. Предшественником был чистый пар, сроки посева оптимальные для региона.

Математическую и статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова (2014).

Фенологические наблюдения, оценку степени зимостойкости, устойчивости к грибным болезням проводили согласно методическим указаниям ВИР (1999). Анализ структуры урожая проводили по Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Физико-химические показатели качества зерна определяли стандартными методами: масса 1000 зерен – по ГОСТ 10842-89, натура зерна – по ГОСТ 10840-64, количество и качество клейковины – по ГОСТ 54478-2011, стекловидность – по ГОСТ 10987-76. Содержание белка в зерне определяли по методу Кьельдаль – ГОСТ 10846-91.

Наиболее благоприятные метеорологические условия для озимой пшеницы складывались в 2020 г. в фазы весеннего кущения, трубкования и колошения растений. ГТК в период весеннего кущения составил 3,6. Достаточное увлажнение в период трубкования и колошения способствовало формированию крупного многозерного колоса. Повышение температуры и отсутствие осадков усложнили процесс формирования и налива зерна. Однако запас питательных веществ в почве позволил растениям озимой пшеницы сформировать высокий урожай зерна. Наиболее засушливые условия вегетации складывались в 2021 году. Гидротермический коэффициент за период весенне-летней вегетации озимой пшеницы был равен 0,45. Это указывает на то, что условия были недостаточно влажными для оптимального роста и развития растений. Созревание зерна озимой пшеницы произошло ранее среднесрочных сроков на две недели – 12–14 июля.

Весной 2022 г. сложились благоприятные метеоусловия с большим количеством осадков для отрастания корневой системы и формирования дополнительных побегов кущения. В течение весенне-летней вегетации осадки выпадали неравномерно, но их количество (174 мм) было достаточным для формирования высоких урожаев.

Результаты и их обсуждение. В результате селекционной работы для условий северных районов Среднего Поволжья создан сорт озимой мягкой пшеницы Сабан. Код сорта: 7953357. Патент № 13436 от 03.04.2024. Патентообладатель: ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».

Сорт Сабан получен методом индивидуального отбора из гибридной популяции, полученной от скрещивания сортов Казанская 285 и Безенчукская 380. Скрещивание проведено 2005 г., элитное растение выделено в 2008 году. Разновидность – лютеценс. Куст полупрямо-стоячий. По форме колос цилиндрический с короткими остевидными отrostками на конце, средней длины и плотности. Восковой налет на колосе слабый – средний, на влагалище фла-

гового листа – средний. Плечо нижней колосковой чешуи закругленное, среднее – широкое; зубец нижней колосковой чешуи прямой –

слегка изогнут, очень короткий – короткий (см. рис.).



Колос озимой мягкой пшеницы Сабан
Ear of the winter common wheat variety 'Saban'

В зависимости от метеоусловий года продолжительность вегетационного периода у сорта Сабан составляет 320–325 дней (табл. 1). В среднем за три года испытаний зимостойкость составила 88 %. Сорт Сабан интенсивного типа, отзывчив на внесение сложных удобрений. В среднем

за три года изучения высота растений составила 74 см, что на 9,7 см ниже стандартного сорта Казанская 560. Устойчивость к полеганию составила 8,7 балла при коэффициенте вариации 6,66 %. Сорт устойчив к твердой головне, умеренно восприимчив к мучнистой росе и бурой ржавчине.

Таблица 1. Характеристика сорта озимой мягкой пшеницы Сабан (КСИ, 2020–2022 гг.)
Table 1. Characteristics of the winter common wheat variety 'Saban' (CVT, 2020–2022)

Показатели	Казанская 560, st					Сабан				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	CV, %	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	CV, %
Вегетационный период, дни	325	320	328	324,3	1,25	325	320	324	323,0	0,82
Зимостойкость, %	84	85	90	86,3	3,72	86	88	90	88,0	2,00
Устойчивость к полеганию, балл	8	9	8	8,3	6,93	9	9	8	8,7	6,66
Высота растения, см	85	82	86	83,7	3,21	74,5	71,6	75,8	74,0	2,91

При изучении в конкурсном сортоиспытании урожайность сорта Сабан варьировала от 4,2 до 5,68 т/га, а в среднем за три года – 5,14 т/га. Превышение по урожаю зерна над стандартом составило 0,64 т/га (табл. 2). Сорт Сабан показал хорошую урожайность

в условиях засухи 2021 г., которая составила 4,2 т/га, что на 0,65 т/га больше, чем у стандартного сорта. Этот результат обусловлен густотой продуктивного стеблестоя и большим количеством зерен в колосе.

Таблица 2. Урожайность нового сорта Сабан, т/га (КСИ, 2020–2022 гг.)
Table 2. Productivity of the new variety 'Saban', t/ha (CVT, 2020–2022)

Сорт (фактор А)	Год (фактор В)			Среднее
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Казанская 560, st	4,84	3,55	5,12	4,50
Сабан	5,54	4,20	5,68	5,14
Отклонение от стандарта	0,70	0,65	0,56	0,64
HCP ₀₅ по А = 0,30; HCP ₀₅ по В = 0,65; HCP ₀₅ АВ = 0,56				

Сорт Сабан формирует качество зерна, соответствующее сортам пшеницы ценной. Масса 1000 зерен у сорта Сабан превышает стандартный сорт на 2,8 г, а натура зерна – на 19 г/л. В среднем за три года натура зерна составила 770–802 г/л (табл. 3). Содержание белка в зер-

не у сорта Сабан за годы испытания колебалось от 13,2 до 15,2 %, а содержание клейковины в зерне – от 27,0 до 29,7 %. Менее высокие значения содержания белка и клейковины были связаны с более высоким урожаем зерна у сорта Сабан по сравнению со стандартным сортом.

Коэффициенты вариации показателей качества зерна (массы 1000 зерен, натуры зерна, содержания белка и клейковины) у сорта Сабан были ниже, чем у Казанской 560.

Таблица 3. Характеристика технологического качества зерна сорта озимой мягкой пшеницы Сабан (2020–2022 гг.)
Table 3. Characteristics of the technological quality of grain of the winter common wheat variety 'Saban' (2020–2022)

Показатель	Казанская 560, st					Сабан				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	CV, %	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	CV, %
Масса 1000 зерен, г	37,2	30,8	39,3	35,8	12,4	40,2	35,4	40,1	38,6	7,1
Натура зерна, г/л	770	740	785	765,0	3,0	780	770	802	784,0	2,1
Содержание белка в зерне, %	14,0	15,5	12,7	14,1	10,0	13,2	15,2	14,1	14,2	7,1
Содержание клейковины в зерне, %	28,9	33,0	25,2	29,0	13,4	27,8	29,7	27,0	28,2	4,9
Качество клейковины в зерне, ед. ИДК	83	91	84	86	5,1	75	80	81	78,7	4,1

В среднем за годы изучения у сорта Сабан сила муки составила 301 е.а., что соответствует нормам удовлетворительного улучшения (табл. 4). Показатели валориметрической оценки у сорта Сабан соответствовали нормам пшеницы, наиболее ценной по качеству, – 59 %. Общая хлебопекарная оценка составила 4,5 балла.

Таблица 4. Характеристика реологического и хлебопекарного качества зерна сорта Сабан (среднее за 2020–2022 гг.)
Table 4. Characteristics of the rheological and baking quality of grain of the variety 'Saban' (2020–2022)

Показатель	Казанская 560, st	Сабан
ВПС, %	58,0	60,0
Устойчивость теста, мин	25	Более 27
Разжижение теста, е.ф.	25	18
Валориметрическая оценка, %	55	59
Сила муки, Дж 10 ⁻⁴ , W	280	301
Упругость теста, мм, P	85	91
Растяжимость теста, мм, L	70	83
Отношение P/L	1,20	1,09
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,4	4,5

Выводы. Сорт Сабан обладает высокой зимостойкостью (88 %), что важно для условий Среднего Поволжья. Способен формировать урожайность свыше 5 т/га за счет высокого продуктивного кущения и устойчивости к полеганию, формирует зерно с высокими показателями технологического и реологического качества. Сорт Сабан прошел Государственное сортоиспытание и разрешен к использованию в Средневолжском регионе Российской Федерации.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 122011800138-7 «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка берегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды».

Библиографические ссылки

- Борадулина В.А., Мусалитин Г.М. Состояние производства озимой пшеницы в Алтайском крае // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3(57). С. 63–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-63-66
- Демина Е.А., Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Муллаянова О.С., Чекмасова К.Ю. Источники ценных признаков для селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье // Вестник Казанского ГАУ. № 4(60). 2020. С. 21–26. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-21-26
- Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- 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(79). С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16
- Косенко, С.В. Новый сорт озимой мягкой пшеницы Алёнушка // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 27–30. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp27-30
- Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания ВИР / под ред. А.Ф. Мережко. СПб.: ВИР, 1999. 82 с.
- Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Чурсин А.С., Ковальчук А.М., Шаманин В.П. Селекционная оценка сортообразцов озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2023. № 4. С. 21–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-21-27

8. Manukyan I.R., Miroshnikova E.S. Comprehensive assessment of the breeding material of winter wheat for resistance to moisture deficiency and productivity // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 547, Article number: 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012022
9. Miroslavjevic M., Momc'ilovic V., Z'ivanc'ev D., Ac'in V., Jockovic B., Mikic S., Takac V., Denc'ic S. Genetic improvement of grain yield and bread-making quality of winter wheat over the past 90 years under the Pannonian Plain conditions // Euphytica. 2020. Vol. 216, Article number: 184. DOI: 10.1007/s10681-020-02724-5

References

1. Boradulina V.A., Musalitin G.M. Sostoyanie proizvodstva ozimoi pshenitsy v Altaiskom krae [The state of winter wheat production in the Altai Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 3(57). S. 63–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-63-66
2. Demina E.A., Kincharov A.I., Taranova T. Yu., Mullayanova O.S., Chekmasova K. Yu. Istochniki tsennykh priznakov dlya selektsii yarovoi myagkoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e [Sources of valuable traits for spring common wheat breeding in the Middle Volga region] // Vestnik Kazanskogo GAU. № 4(60). 2020. S. 21–26. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-21-26
3. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351s.
4. Ivanisov M.M., Marchenko D.M., Nekrasov E.I. Otsenka sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v mezhestantsionnom ispytanii po khozyaistvenno tsennym priznakam [Estimation of winter common wheat varieties in the interstation testing based according to the economically valuable traits] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 1(79). S. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16
5. Kosenko S.V. Novyi sort ozimoi myagkoi pshenitsy Alenushka [A new winter common wheat variety 'Alyonushka'] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2021. № 7. S. 27–30. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp27-30
6. Popolnenie, sokhranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoi kolleksii pshenitsy, egilopsa i tritikale: metodicheskie ukazaniya VIR [Replenishment, preservation in a living form and study of the world collection of wheat, aegilops and triticales: VIR's methodical recommendations] / pod red. A.F. Merezsko. SPb.: VIR, 1999. 82 s.
7. Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Chursin A.S., Koval'chuk A. M., Shamanin V.P. Selektionnaya otsenka sortoobraztsov ozimoi pshenitsy v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [Breeding estimation of winter wheat varieties in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. № 4. S. 21–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-21-27
8. Manukyan I.R., Miroshnikova E.S. Comprehensive assessment of the breeding material of winter wheat for resistance to moisture deficiency and productivity // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 547, Article number: 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012022
9. Miroslavjevic M., Momc'ilovic V., Z'ivanc'ev D., Ac'in V., Jockovic B., Mikic S., Takac V., Denc'ic S. Genetic improvement of grain yield and bread-making quality of winter wheat over the past 90 years under the Pannonian Plain conditions // Euphytica. 2020. Vol. 216, Article number: 184. DOI: 10.1007/s10681-020-02724-5

Поступила: 25.04.24; доработана после рецензирования: 30.07.24; принята к публикации: 30.07.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Фадеева И.Д. – общее научное руководство, концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста, проведение полевых исследований; Курмакаев Ф.Ф. – проведение полевых исследований; Идиатова Р.Х. – выполнение лабораторных анализов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ АНДРОГЕННЫХ ДИГАПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПОКОЛЕНИЯ R1 В УСЛОВИЯХ *IN VIVO*

Н. В. Калинина, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;

Н. Г. Черткова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;

В. Ю. Донцова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

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

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

Получение дигаплоидных линий с помощью биотехнологических методов может снизить не только срок выведения нового сорта, но и трудозатраты и технические ресурсы. Ранее в наших исследованиях был получен семенной материал андрогенных дигаплоидных растений-регенерантов R0 поколения, выращенный в условиях *ex vitro*. Следующим этапом работы был посев семян этих растений *in vivo*. Целью исследования была оценка развития в условиях *in vivo* растений озимой пшеницы андрогенных дигаплоидных линий поколения R1 и родительских сортов по таким признакам, как продолжительность фенотипа, вегетационного периода, морфометрическая оценка для сравнения их между собой и с родительскими генотипами, а также для размножения семян. В результате выполненных в 2022–2024 гг. исследований оценен новый исходный материал мягкой озимой пшеницы, полученный на основе ранее проведенных биотехнологических работ. Проведено изучение андрогенных дигаплоидных линий R1 по признакам вегетативных и генеративных органов, по зерновой продуктивности растений и всхожести семян. Отобраны перспективные линии для дальнейшей селекционной оценки. Андрогенные дигаплоидные линии озимой пшеницы поколения R1 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1 выделились по вегетативным, генеративным признакам, зерновой продуктивности и всхожести семян. Наилучшими показателями продуктивности и всхожести характеризовались андрогенные дигаплоидные линии на основе гибридной комбинации Ростовчанка 7 × Безостая 100.

Ключевые слова: озимая пшеница, андрогенез *in vitro*, андрогенная дигаплоидная линия, растения в условиях *in vivo*, морфометрические признаки.

Для цитирования: Калинина Н. В., Черткова Н. Г., Донцова В. Ю., Марченко Д. М. Оценка развития андрогенных дигаплоидных линий озимой пшеницы поколения R1 в условиях *in vivo* // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 26–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-26-32.



ESTIMATION OF THE DEVELOPMENT OF ANDROGENIC DIHAPLOID LINES OF WINTER WHEAT OF THE R1 GENERATION *IN VIVO*

N. V. Kalinina, researcher of the laboratory for cell breeding, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;

N. G. Chertkova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;

V. Yu. Dontsova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903

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

Development of dihaploid lines using biotechnological methods can reduce not only the time required to breed a new variety, but also labor costs and technical resources. Earlier in our studies, there has been obtained seed material of androgenic dihaploid of the regenerated plants of the R0 generation, grown *ex vitro*. The next stage of the work dealt with sowing the seeds of these plants *in vivo*. The purpose of the current study was to estimate the development of winter wheat plants of androgenic dihaploid lines of the R1 generation and parental varieties *in vivo* according to such characteristics as a length of phenophases, a vegetation period, morphometric estimation for comparison with each other and with parental genotypes, as well as for seed propagation. As a result of the study carried out in 2022–2024, there has been estimated a new initial material of winter common wheat obtained on the basis of previously conducted biotechnological work. There have been studied androgenic dihaploid R1 lines according to the traits of vegetative and generative organs, for grain productivity of plants and seed germination. There have been selected promising lines for further breeding evaluation. Androgenic dihaploid lines of winter wheat of the R1 generation 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1 were the best according to vegetative, generative traits, grain productivity and seed germination. The best indicators of productivity and germination were characterized by androgenic dihaploid lines based on the hybrid 'Rostovchanka 7 x Bezostaya 100'.

Keywords: winter wheat, androgenesis *in vitro*, androgenic dihaploid line, plants *in vivo*, morphometric traits.

Введение. Пшеница является первостепенной сельскохозяйственной культурой, возделываемой во всем мире, и выступает в качестве основного злака в питании людей. Современная стратегия селекции пшеницы направлена на создание сортов, обладающих комплексной устойчивостью к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам окружающей среды, экологической пластичностью. Сложность выведения сорта заключается в слишком длительном процессе, в частности в количестве лет на его создание, поэтому селекционеры все чаще прибегают к привлечению биотехнологических методов наряду с традиционными (Жингазиев и др., 2016; Grauda et al., 2010). Андрогенез *in vitro* – это наиболее часто применяемый метод, позволяющий получать гаплоидные и дигаплоидные растения, которые являются уникальным селекционным материалом (Сельдимирова и др., 2014; Осадчая и др., 2016; Grauda et al., 2016). Получение дигаплоидных линий может снизить не только срок выведения нового сорта, но и трудозатраты и технические ресурсы.

Практическую значимость дигаплоидов определяет образование на конечном этапе полноценных фертильных растений, гомозиготных по всем локусам, что позволяет быстро провести достоверную оценку полученного материала (Круглова и др., 2017; Созинова, 2004). Ранее в наших исследованиях был получен семенной материал андрогенных дига-

плоидных растений R0 поколения, выращенный в условиях *ex vitro* (Черткова и др., 2023). Была выявлена высокая гаплопродукционная способность и фертильность колосьев растений на основе гибридной комбинации Ростовчанка 7 × Безостая 100. Поскольку в условиях *in vitro* и *ex vitro* можно провести оценку ограниченного числа признаков, то важно оценить развитие андрогенных дигаплоидных растений следующего поколения R1 в условиях *in vivo*. Были проведены посев семян андрогенных дигаплоидных растений пшеницы, выращивание и наблюдение за растениями (на экспериментальной вегетационной площадке) по таким показателям, как продолжительность фенологических фаз, вегетационного периода, морфометрическая оценка для сравнения их между собой и с родительскими сортами, а также для размножения семян. Поэтому целью исследования была оценка развития в условиях *in vivo* растений озимой пшеницы андрогенных дигаплоидных линий поколения R1 и родительских сортов.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования являлись растения озимой мягкой пшеницы 10 андрогенных дигаплоидных линий поколения R1, полученные через культуру пыльников *in vitro* (табл. 1) в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Черткова и др., 2023), и пяти родительских сортов (Вольница, Ростовчанка 7, Безостая 100, Княгиня Ольга, Алексеич) (табл. 1).

Таблица 1. Происхождение дигаплоидных линий
Table 1. Origin of the dihaploid lines

Линия	Гибридная комбинация
78.3.2.1	Вольница × Герда
79.1.5.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.1.5.2	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.1.6.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.2.1.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.2.1.2	Ростовчанка 7 × Безостая 100
79.3.4.1	Ростовчанка 7 × Безостая 100
84.3.1.1	1585/16 × Княгиня Ольга
84.3.3.1	1585/16 × Княгиня Ольга
85.2.1.1	586/13 × Алексеич

Растения андрогенных дигаплоидных R1 и сорта родителей выращивали на вегетационной площадке в естественных климатических условиях, характерных для южной зоны Ростовской области в 2022–2024 годах. На площадке был установлен стеллаж (Д × Ш × В: 4 × 2 × 0,7 м), расположенный на 0,6 м от поверхности земли и засыпанный почвой. Делянки 2-рядковые, длиной 1 м с междурядьями 0,15 м, площадью 0,3 м². Повторность двукратная. Размещение вариантов систематическое. Посев зерен, уборку и обмолот проводили вручную. В ходе вегетации растений озимой пшеницы фиксировали наступление фенофаз и их продолжительность по Ф.М. Куперман (1977). После созревания определяли следующие

морфометрические признаки: высота растений, длина колоса, количество колосков в колосе, количество и масса зерна с колоса, масса зерна с 1 м² и др.

В лабораторных условиях проводили оценку энергии прорастания и всхожести семян по общепринятой методике (ГОСТ 12038-84).

Погодно-климатические условия в годы исследования складывались разнообразно. 2022/2023 с.-х. год (температура 11,6 °С, превышение над среднемноголетними данными 1,9 °С, количество осадков 569 мм – 97,7 % от среднемноголетней) оказался наиболее благоприятным для роста, развития растений и формирования урожая зерна. 2023/2024 с.-х. год был неблагоприятным

для озимой мягкой пшеницы (резкий приход весны сменился возвратными заморозками, затем наступила длительная засуха).

Статистическую обработку данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с помощью программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Изучение растений андрогенных дигамплоидных линий озимой мягкой пшеницы R1 поколения и родительских сортов проводили в течение двух вегетационных периодов. Согласно анализу полученных данных все основные фазы развития растений у андрогенных дигамплоидных

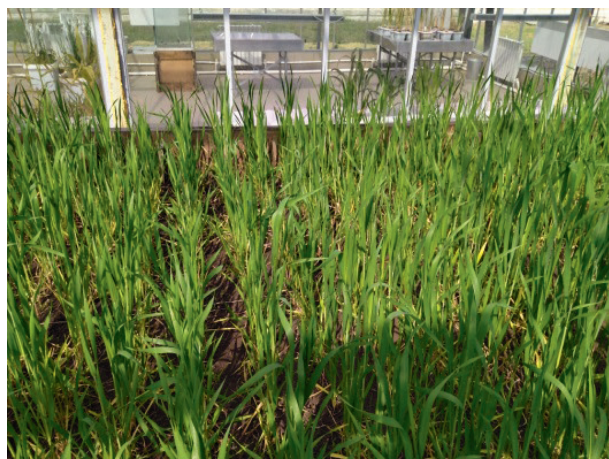
линий (от прорастания семян до полной спелости) прошли сходно с родительскими сортами. Не было выявлено значимых различий по последовательности и продолжительности фенофаз. Посев проводили во влажную почву: в 2022 г. – 3 октября, а в 2023 г. – на 10 дней позже. Появление всходов в среднем за два года (первый лист) отмечали на 9-е сутки от даты посева (рис.1,а). Однако выделились две линии с более длительным периодом прорастания семян: 85.2.1.1 – на 4 дня позже (2022 г.) и 78.3.2.1 – на 6 дней (2023 г.).



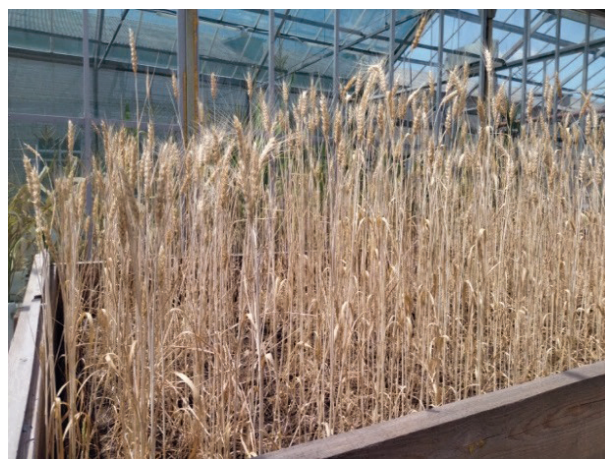
а



б



в



г

Рис. 1. Растения озимой пшеницы андрогенных дигамплоидных линий R1 в условиях *in vivo*:

а – всходы; б – период зимнего покоя (яровизация);

в – выход в трубку и рост стебля раскутившихся растений; г – полная спелость

Fig. 1. Winter wheat plants of androgenic dihaploid lines R1 *in vivo*:

a – sprouts; b – winter dormancy period (vernalization);

c – booting stage and stem growth of tillered plants; d – full maturity

Полевая всхожесть семян андрогенных дигамплоидных линий за два года исследования в среднем составила 75,7 %, однако в благоприятный по климатическим условиям 2022/2023 с.-х. она была выше, чем в неблагоприятный.

На 14–17-е сутки наблюдали появление 3–4-го листа. В этой фазе развития у растений некоторых андрогенных дигамплоидных

линий отмечали отставание в росте. У таких линий, как 78.3.2.1 и 85.2.1.1, третий лист появился на 3 дня позже в сравнении с остальными. В стадию зимнего покоя растения андрогенных дигамплоидных линий «ушли» не раскутившись (рис. 1, б). Возобновление ростовых процессов в среднем за два года отмечали через 105–110 дней. Выход в трубку и рост стебля наблюдали в среднем через 146 дней

от посева (рис. 1, в). Фаза колошения наступила у линии 79.2.1.1 в конце апреля (27.04.), у линий 85.2.1.1 и 85.3.1.1 – 8 мая, а у остальных растений – 3 мая. Разница в цветении между линиями составила 11 дней. Так, колосья андрогенной дигиплоидной линии 79.2.1.1 зацвели 3.05, 84.3.1.1 – 14.05, а остальные – 9.05. Несмотря на небольшие различия в продолжительности некоторых фаз развития растений, полное созревание семян андрогенных дигиплоидных линий озимой пшеницы в 2023 г. наступило одновременно – в конце июня, а в 2024 г. – в начале июня (рис. 1, з). Засушливые метеоусловия 2024 г. сократили сроки налива и созревания зерна в среднем на 12 дней. Период вегетации растений андрогенных дигиплоидных линий в 2023 г. составил 262 дня, в 2024 г. – 234 дня, в среднем за 2 года 248 ± 5 дней. Растения андрогенных дигиплоидных линий 84.3.1.1,

78.3.2.1, 85.2.1.1 созрели соответственно на 2, 5 и 8 дней позже. Продолжительность вегетации родительских сортов составила 251 ± 3 дня, что больше, чем у андрогенных дигиплоидных линий.

После уборки растений был проведен морфометрический анализ по важнейшим хозяйственно ценным признакам. Общее количество стеблей андрогенных дигиплоидных линий озимой пшеницы поколения R1 в условиях *in vivo* в среднем за два года составило 254,2 шт./м² (табл. 2). Максимальное количество стеблей сформировала линия 79.2.1.1 (308,5 шт./м²), а минимальное – линия 78.3.2.1 (68,4 шт./м²). Среди родительских форм выделился сорт Безостая 100 (286,4 шт./м²), который был одним из родителей выделившейся линии.

Таблица 2. Признаки вегетативных органов растений озимой пшеницы андрогенных дигиплоидных линий R1 и родительских сортов (среднее за 2022–2024 гг.)
Table 2. Traits of vegetative organs of winter wheat plants of androgenic dihaploid lines R1 and parental varieties (mean in 2022–2024)

№	Линия / сорт	Общее количество стеблей, шт./м ²	Общая кустистость	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Продуктивная кустистость	Высота растения, см
Андрогенные дигиплоидные линии						
1	78.3.2.1	68,4	1,4	58,4	1,2	60,9
2	79.1.5.1	243,5	1,5	171,8	1,0	87,9*
3	79.1.5.2	270,1	1,3	230,1	1,1	87,0*
4	79.1.6.1	280,2	1,6	230,1	1,2	73,1
5	79.2.1.1	308,5*	1,4	260,1*	1,1	93,1*
6	79.2.1.2	271,8	1,3	216,8	1,1	82,1
7	79.3.4.1	256,8	1,8*	203,4	1,3	83,9
8	84.3.1.1	253,5	1,5	250,1*	1,1	81,9
9	84.3.3.1	280,2	1,9*	153,4	1,2	65,6
10	85.2.1.1	268,5	1,3	240,1*	0,9	82,7
Среднее		254,2	1,5	208,2	1,2	81,2
НСР ₀₅		31,2	0,16	26	0,12	6,1
Родительские сорта						
1	Княгиня Ольга	299,7	2,1	180,1	1,6	61,3
2	Ростовчанка 7	199,8	1,4	153,4	1,3	73,5
3	Безостая 100	286,4*	1,7	166,8	1,7*	75,7*
4	Вольница	239,7	1,5	173,4	1,4	72,7
5	Алексеич	239,7	1,5	153,4	1,5	67,1
Среднее		253,1	1,6	165,4	1,5	70,1
НСР ₀₅		30,4	0,2	23,1	0,15	4,8

Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Общая кустистость изученных андрогенных дигиплоидных линий варьировала от 1,3 до 1,9 стеблей на растении. Достоверное превышение над средним значением наблюдали у линий 79.3.4.1 (1,8) и 84.3.3.1 (1,9). Количество продуктивных стеблей растений андрогенных дигиплоидных линий на 1 м² достоверно выше среднего было у линий 79.2.1.1, 84.3.1.1, 85.2.1.1, причем это больше, чем у родительских сортов. По продуктивной кустистости достоверное превышение над средним в годы изучения наблюдали лишь у сорта Безостая 100. По признаку «высота растения» выделились линии 79.2.1.1 (93,1 см), 79.1.5.1 (87,9 см),

79.1.5 (87,0 см). Причем растения андрогенных дигиплоидных линий были выше родительских сортов. Высота растений озимой пшеницы у родительских форм колебалась от 61,3 см у сорта Княгиня Ольга до 75,7 см у сорта Безостая 100. Одним из родителей выделившихся по высоте растений линий был сорт Безостая 100.

Наибольшую длину колоса сформировала линия 85.2.1.1 (9,4 см), в родословной которой был сорт Алексеич, длина колоса которого была наибольшей (8,2 см). По средним значениям длины колоса между андрогенными дигиплоидными линиями и родительскими сортами достоверных отличий не было (табл. 3).

Таблица 3. Признаки генеративных органов и продуктивность растений озимой пшеницы андрогенных дигаплоидных линий R1 и родительских сортов (среднее за 2022–2024 гг.)
Table 3. Traits of generative organs and productivity of winter wheat plants of androgenic dihaploid lines R1 and parental varieties (mean in 2022–2024)

№	Линия / сорт	Длина колоса, см	Количество колосков в колосе, шт.	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Продуктивность, г/м ²
Андрогенные дигаплоидные линии							
1	78.3.2.1	6,4	14,3	15,7	0,5	30,1	71,7
2	79.1.5.1	7,6	18,3	23,5*	1,05*	45,4*	167,4*
3	79.1.5.2	7,6	18,2	23,9*	0,95*	39,5*	195,8*
4	79.1.6.1	6,8	17,7	16,0	0,7	38,5	87,3
5	79.2.1.1	7,5	19,0	19,4	0,8	40,7*	171,3*
6	79.2.1.2	7,6	18,7	21,6	0,8	36,4	136,5
7	79.3.4.1	6,6	19,2	21,1	0,65	31,4	116,7
8	84.3.1.1	6,1	17,2	18,0	0,55	30,4	138,2
9	84.3.3.1	8,0*	17,6	24,1*	0,9*	37,3	108,7
10	85.2.1.1	9,4*	19,9	17,4	0,75	42,6*	141,1
Среднее		7,4	18,0	19,8	0,75	37,1	135,7
НСР ₀₅		0,8	2,1	2,0	0,1	2,4	15,6
Родительские сорта							
1	Княгиня Ольга	7,4	18,2	29,3	1,06	36,2	174,5
2	Ростовчанка 7	6,4	20,7	22,1	0,9	40,7	137,8
3	Безостая 100	7,3	16,5	33,1*	1,3*	39,3	209,2*
4	Вольница	7,05	19,3	24,4	1,04	42,6	175,1
5	Алексеич	8,2*	19,9	29,1	1,2	41,2	167,8
Среднее		7,3	18,9	27,6	1,1	40,0	172,8
НСР ₀₅		0,8	2,2	3,5	0,1	3,9	18,4

Примечание. * – достоверно на 5 %-м уровне значимости.

По признаку «количество колосков в колосе» достоверных отличий от средних значений не наблюдали. У родительских сортов по признаку «количество колосков» варьирование составило от 16,5 шт. (Безостая 100) до 20,7 шт. (Ростовчанка 7). Количество зерен в колосе и масса зерна с колоса являются важными элементами структуры урожая. Максимальное значение по признаку «количество зерен» отмечено у линии 84.3.3.1 (24,1 шт.), также достоверно высокие значения признака наблюдались у линий 79.1.5.2 (23,9 шт.) и 79.1.5.1 (23,5 шт.). Среди родительских сортов выделился сорт Безостая 100 с количеством зерен в колосе 33,1 шт. У изучаемых андрогенных дигаплоидных линий и родительских сортов по признаку «масса зерна с колоса» варьирование находилось в пределах от 0,5 до 1,06 г. Андрогенная дигаплоидная линия 79.1.5.1 показала максимальное значение (1,05 г), что свидетельствует о высокой продуктивности колоса. По признаку «масса 1000 зерен» достоверно выше среднего выделились линии 79.1.5.1 (45,4 г), 79.1.5.2 (39,5 г), 79.2.1.1 (40,7 г) и 85.2.1.1 (42,6 г), а у родительских форм максимальное значение было у сорта Вольница – 42,6 г. В среднем родительские сорта имели массу 1000 зерен выше, чем андрогенные дигаплоидные линии на 2,9 г. По признаку продуктивность зерен с 1 м² родительские сорта превышали андрогенные дигаплоидные линии на 37,1 г. Максимальные значения по продук-

тивности зерен с 1 м² показали линии 79.1.5.2 (195,8 г), 79.1.5.1 (167,4 г) и 79.2.1.1 (171,3 г), а родительские сорта – Безостая 100 (209,2 г). Высокая зерновая продуктивность выделившихся линий 79.1.5.2, 79.1.5.1 и 79.2.1.1 обусловлена такими структурными элементами, как количество зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен. Продуктивность зерен андрогенных дигаплоидных линий 84.3.1.1 и 85.2.1.1 была выше среднего значения, но в пределах НСР₀₅, что обусловлено большим количеством продуктивных стеблей и массой 1000 зерен. Линия 84.3.3.1 показала достоверно высокие значения по таким элементам структурного анализа, как количество зерен (24,1 шт.) и масса зерна (0,9 г) с колоса, но достоверно уступила по зерновой продуктивности (108,7 г), что обусловлено малым числом продуктивных стеблей (153,4 шт.).

Заключительным этапом в исследовании являлась оценка энергии прорастания и лабораторной всхожести полученного семенного материала (рис. 2).

В исследовании Кругловой и др. лабораторная всхожесть была разделена на 3 условные группы: 1 группа – всхожесть выше 80 %, 2 группа – от 60–80 %, 3 группа – всхожесть менее 60 % (Круглова и др., 2017). Установлена различная энергия прорастания и лабораторная всхожесть зерновок андрогенных растений R1 и их родительских форм (рис. 3).

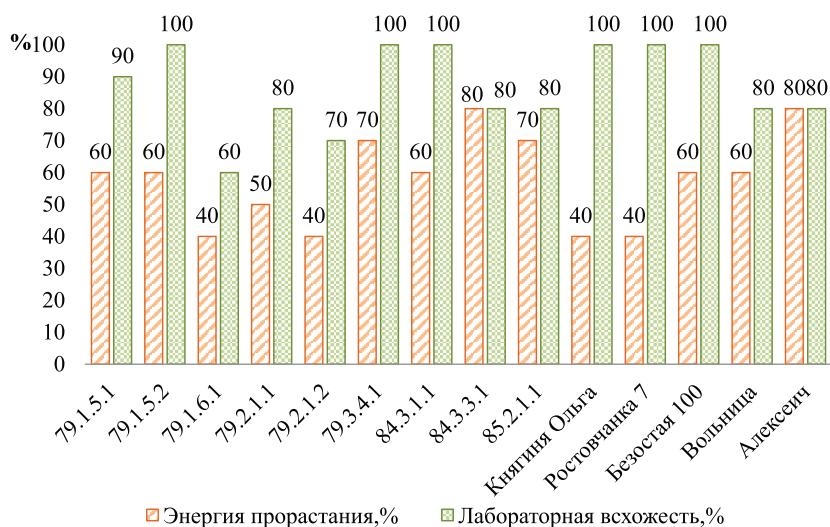


Рис. 2. Энергия прорастания и лабораторная всхожесть зерновок андрогенных растений пшеницы R1
Fig. 2. Germination energy and laboratory germination of grains of androgenic wheat plants R1



Рис. 3. Прорастание зерновок андрогенных дигампоидных растений поколения R1:
 а – 1-я группа всхожести; б – 2-я группа всхожести
Fig. 3. Germination of grains of androgenic dihaploid plants of the R1 generation:
 а – 1st germination group; б – 2nd germination group

Исследуемые андрогенные дигампоидные линии разделили по всхожести на группы: 1-я группа – линии 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 79.3.4.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1 и все родительские сорта, 2-я группа – линии 78.3.2.1, 79.1.6.1, 79.2.1.2. По 3-й группе (всхожесть менее 60 %) образцов не обнаружено.

Таким образом, андрогенные дигампоидные линии озимой пшеницы 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, 84.3.1.1, 84.3.3.1, 85.2.1.1, выделившиеся по вегетативным и генеративным признакам, продуктивности зерен и всхожести были оценены как более перспективные для дальнейших исследований.

Выводы. На основе проведенных исследований в 2022–2024 гг. при оценке развития

растений озимой пшеницы андрогенных дигампоидных линий поколения R1 в условиях *in vivo* установлено, что продолжительность вегетационного периода линий в целом была на 3 дня меньше, чем у родительских сортов. Линии 79.1.5.1, 79.1.5.2, 79.2.1.1, родительскими сортами которых были Ростовчанка 7 и Безостая 100, выделились по массе 1000 зерен: 45,4, 39,5 и 40,7 г соответственно, по зерновой продуктивности: 167,4, 195,8 и 171,3 г/м² соответственно. Лабораторная всхожесть семян выделившихся линий была 80 % и более. В результате получен новый исходный материал, рекомендуемый для дальнейшей селекционной работы.

Библиографические ссылки

1. Жангазиев А. С., Тайчибеков А. У., Кашкынбаева Л. Б., Дюсенбаева Ж. С. Гаплоидная технология в использовании методов *in vitro* в селекции озимой пшеницы // Успехи современного естествознания. 2016. № 7. С. 42–45. EDN ZDGVPT.
2. Круглова Н. Н., Сельдиминова О. А., Зайцев Д. Ю., Галин И. Р., Зинатуллина А. Е., Анохина Н. С. Развитие андроклиных растений пшеницы в полевых условиях *in vivo* // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3. С. 26–30.

3. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений: Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений: учебное пособие для биол. специальностей вузов / 3-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1977. 288 с.

4. Сельдимирова О.А., Круглова Н.Н. Андроклиный эмбриогенез *in vitro* злаков // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 5. С. 476–487.

5. Созинова, Л.Ф. Расширение генофонда мягкой пшеницы на Севере Казахстана методами биотехнологии. Итоги 2004 года // Биотехнология. Теория и практика. 2005. № 1. С. 51–55.

6. Черткова Н.Г., Калинина Н.В., Донцова В.Ю., Марченко Д.М. Оценка результативности получения регенерантных линий озимой мягкой пшеницы в культуре пыльников *in vitro* // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 76–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-76-81

7. Осадчая Т.С., Трубочеева Н.В., Кравцова Л.А., Белан И.А., Россеева Л.П., Першина Л.А. Изучение фертильности и цитогенетической изменчивости у андрогенных растений (R0 и R1) аллоплазматических интрогрессивных линий мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20, № 3. С. 370–377. DOI: 10.18699/VJ16.165

8. Grauda D., Lepse N., Strazdina V., Kokina I., Lapina L., Mikelsone A., Lubinskis L., Rashal I. Obtaining of doubled haploid lines by anther culture method for the Latvian wheat breeding // Agronomy Research. 2010. Vol. 8, № 3. P. 545–552.

9. Grauda D., Zagata K., Lanka G., Strazdina V., Fetere V., Lisina N., Krasnevskaya N., Fokina O., Mikelsone A., Ornican R., Belogrudova I., Rashal I. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants-regenerants produced by anther culture // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol. 20, № 4. P. 537–544. DOI: 10.18699/VJ16.176

References

1. Zhangaziev A.S., Taichibekov A.U., Kashkynbaeva L.B., Dyusenbaeva Zh. S. Gaploidnaya tekhnologiya v ispol'zovanii metodov *in vitro* v selektsii ozimoi pshenitsy [Haploid technology in the use of *in vitro* methods in winter wheat breeding] // Uspekhi sovremenno ego estestvoznaniya. 2016. № 7. S. 42–45. EDN ZDGVPT.

2. Kруглова Н.Н., Сельдимирова О.А., Зайцев Д.Ю., Галин И.Р., Зинатуллина А.Е., Анوخина Н.С. Развитие андроклиных растений пшеницы в полевых условиях *in vivo* [Development of androclinal wheat plants in field conditions *in vivo*] // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. 2017. № 3. S. 26–30.

3. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений: Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений: учеб. пособие для биол. специальностей вузов [Morphophysiology of plants: Morphophysiological analysis of the stages of organogenesis of various life forms of angiosperms] / 3-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1977. 288 с.

4. Сельдимирова О.А., Круглова Н.Н. Андроклиный эмбриогенез *in vitro* злаков [Androclinal embryogenesis *in vitro* of cereals] // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 5. С. 476–487.

5. Sozinova, L.F. Rasshirenie genofonda myagkoi pshenitsy na Severe Kazakhstana metodami biotekhnologii. Itogi 2004 goda [Expansion of the gene pool of common wheat in the North of Kazakhstan by biotechnology methods. Results of 2004] // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. 2005. № 1. S. 51–55.

6. Chertkova N.G., Kalinina N.V., Dontsova V.Yu. Marchenko D.M. Otsenka rezul'tativnosti polucheniya regenerantnykh linii ozimoi myagkoi pshenitsy v kul'ture pyl'nikov *in vitro* [Estimation of the efficiency of obtaining regenerant lines of winter common wheat in the culture of anther *in vitro*] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. Т. 15, № 1. S. 76–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-76-81

7. Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Kravtsova L.A., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. Izuchenie fertil'nosti i tsitogeneticheskoi izmenchivosti u androgennykh rastenii (R0 i R1) alloplazmaticheskikh introgressivnykh linii myagkoi pshenitsy [Study of fertility and cytogenetic variability in androgenic plants (R0 and R1) of alloplasmic introgressive lines of common wheat] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2016. Т. 20, № 3. S. 370–377. DOI: 10.18699/VJ16.165

8. Grauda D., Lepse N., Strazdina V., Kokina I., Lapina L., Mikelsone A., Lubinskis L., Rashal I. Obtaining of doubled haploid lines by anther culture method for the Latvian wheat breeding // Agronomy Research. 2010. Vol. 8, № 3. P. 545–552.

9. Grauda D., Zagata K., Lanka G., Strazdina V., Fetere V., Lisina N., Krasnevskaya N., Fokina O., Mikelsone A., Ornican R., Belogrudova I., Rashal I. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants-regenerants produced by anther culture // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol. 20, № 4. P. 537–544. DOI: 10.18699/VJ16.176

Поступила: 09.10.24; доработана после рецензирования: 14.10.24; принята к публикации: 14.10.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Калинина Н.В. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, финальная доработка текста; Черткова Н.Г., Донцова В.Ю. – выполнение лабораторных опытов, сбор, анализ литературных и лабораторных данных, подготовка рукописи; Марченко Д.М. – предоставление материала для исследований, критический анализ текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

КОМБИНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ НОВЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ПО УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА И СОСТАВЛЯЮЩИМ ЕЕ КОМПОНЕНТАМ

Г. Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
А. С. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatv1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Важнейший показатель ценности исходного материала при селекции на гетерозис – его комбинационная способность. Цель исследований – изучение комбинационной способности новых самоопыленных линий кукурузы по урожайности зерна и основным ее составляющим компонентам. Исследования проведены в 2021–2023 гг. в ФГБНУ «АНЦ» «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области, характеризующейся неустойчивым увлажнением. В качестве объекта исследований послужили 9 новых константных самоопыленных линий кукурузы и линия RD 329, использованная в качестве стандарта. Объектом исследований также взяты три тестера – простых гибрида кукурузы: Кросс 1, Кросс 2, Кросс 3 и 30 новых тесткроссных гибридов кукурузы. Выделены новые высокогетерозисные гибриды кукурузы Кросс 1×Сл 303 (5,05 т/га), Кросс 1×Сл 308 (4,75 т/га), Кросс 1×Сл 309 (4,84 т/га), представляющие практический интерес. Выявлены новые самоопыленные линии Сл 303 ($g_i = 0,56$), Сл 308 ($g_i = 0,43$) и Сл 309 ($g_i = 0,47$) с высокой комбинационной способностью по признаку «урожайность зерна», которые рекомендуется использовать в программах скрещиваний. Самоопыленные линии с высокой ОКС по урожайности зерна, как правило, имели более высокую ОКС по признакам продуктивности: «количество зерен на початке», «масса 1 початка» и «количество початков на растении». Это способствовало завязываемости у тесткроссных гибридов кукурузы большого количества зерен на початке (623–655 шт.), формированию початков с большой массой (131–147 г), отсутствию бесплодных растений в засушливых условиях. Комбинационная способность по признаку «масса 1000 зерен» не влияла на урожай тесткроссных гибридов в засушливых условиях. Использование самоопыленных линий с высокими значениями признаков продуктивности и передающими высокие значения гибридам позволило создать новые урожайные гибридные комбинации.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.) тесткроссные гибриды, самоопыленные линии, комбинационная способность, оценки эффектов ОКС.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Комбинационная способность новых линий кукурузы по урожайности зерна и составляющим ее компонентам // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-33-39.



COMBINING ABILITY OF NEW MAIZE LINES ACCORDING TO GRAIN PRODUCTIVITY AND ITS COMPONENTS

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatv1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The most important indicator of the initial material's value in breeding for heterosis is its combining ability. The purpose of the current work was to study the combining ability of new self-pollinated maize lines according to grain productivity and its main components. The study was conducted at the FSBSI “ARC “Donskoy”, located in the southern part of the Rostov region with unstable moisture, in 2021–2023. The objects of the studies were 9 new constant self-pollinated maize lines and the line ‘RD 329’, used as a standard. The objects of the studies were also 3 testers, simple maize hybrids ‘Kros 1’, ‘Kros 2’, ‘Kros 3’ and 30 new test-cross hybrids of maize. There have been identified new highly heterotic maize hybrids of practical interest ‘Kros1×SI 303’ (5.05 t/ha), ‘Kros1×SI 308’ (4.75 t/ha), ‘Kros1×SI 309’ (4.84 t/ha). There have been identified new self-pollinated lines ‘SI 303’ ($g_i = 0.56$), ‘SI 308’ ($g_i = 0.43$) and ‘SI 309’ ($g_i = 0.47$) with high combining ability according to the trait ‘grain productivity’ and are recommended for use in programs of hybridization. Self-pollinated lines with high GCA according to grain productivity, as a rule, had higher GCA for such productivity traits as ‘a number of grains per ear’, ‘one ear weight’ and ‘a number of ears per plant’. This contributed to the formation of a large number of grains per ear in test-cross maize hybrids (623–655 pcs.), the formation of ears with a large weight (131–147 g), and the absence of sterile plants in dry conditions. The combining ability according to the trait ‘1000-grain weight’ had no effect on productivity of test-cross hybrids in dry conditions. The use of self-pollinated lines with high values of productivity traits and transmitting high values to hybrids made it possible to develop new productive hybrid combinations.

Keywords: maize (*Zea mays* L.), testcross hybrids, self-pollinated lines, combining ability, estimation of GCA effects.

Введение. Кукуруза относится к тем сельскохозяйственным культурам, у которых преимущество гибридов над сортами неоспоримо. Доказано, что гибриды кукурузы по сравнению с сортами более урожайны, технологичны в уборке и, как правило, более устойчивы к биотическим и абиотическим стресс-факторам внешней среды. В связи с этим работа селекционеров направлена на создание высокогетерозисных гибридов кукурузы. Как следствие, одна из важнейших задач – создание и подбор исходного материала, при скрещивании которого в гибридах проявляются высокие значения хозяйственных признаков, и прежде всего урожайности зерна. Такое свойство называют комбинационной способностью.

Для самоопыленных линий кукурузы, которые являются родительскими формами гибридов, именно их комбинационная способность служит основным критерием отбора для использования в дальнейшей работе (Кагермезов и др., 2022).

Отечественные селекционеры используют результаты оценки комбинационной способности с целью выделения перспективных линий для селекции на гетерозис. Применяются различные методы, чаще система диаллельных или топкроссных скрещиваний (Зайцев, 2020).

Об изучении самоопыленных линий на общую комбинационную способность методом топкроссов сообщают исследователи (Лемешев и др., 2019). При этом они говорят о необходимости тщательного подбора тестеров.

Несомненно, комбинационная способность самоопыленных линий по урожайности зерна – важнейший показатель их ценности. Однако представляет интерес комбинационная способность по другим признакам, например, селекционеры (Орлянская и др., 2022) придают особое значение комбинационной способности по признаку «уборочная влажность зерна».

Для расширения генетической базы исходного материала, используемого в селекции кукурузы, необходим поиск новых источников селекционно-ценных признаков. Оценка их по комбинационной способности позволяет судить о практической ценности этих источников (Хатефов и др., 2018, Кривошеев и Игнатьев, 2023).

Зарубежные исследователи придают особое значение отбору исходного материала на основе его комбинационной способности (Hisse, 2022).

По утверждению Fan et al. (2018), повышению эффективности селекционного процесса способствует именно оценка комбинационной способности исходного материала.

По сведениям зарубежных (Rahimi Jahangirlou et al., 2021) и отечественных исследователей (Хатефов и др., 2018), элементы структуры урожая зерна – масса початка, количество зерен на початке, параметры початка

и др. – влияли на урожайность зерна гибридов кукурузы.

Сочетание высоких значений признаков продуктивности у гибридов повышает их урожайность (Кривошеев и Игнатьев, 2017).

Учитывая, что продуктивность гибридов кукурузы зависит от компонентов, составляющих урожай зерна, практический интерес может представлять информация о том, какие линии передают гибридам высокие значения признаков продуктивности и какие из них влияют на формирование высокого урожая зерна в засушливых условиях.

Цель исследований – изучение комбинационной способности новых самоопыленных линий кукурузы по урожайности зерна и основным ее составляющим компонентам.

Материалы и методы исследований.

Исследования проведены в 2021–2023 гг. в ФГБНУ «АНЦ» «Донской» в лаборатории селекции и семеноводства кукурузы. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым с мощным гумусовым слоем (до 120 см) и содержанием гумуса 3,3 %.

Погодные условия в годы проведения эксперимента характеризовались как засушливые, но различной степени засушливости: средnezасушливые – 2021 и 2023 гг., остроzасушливый – 2022 год. В 2021 г. за период вегетации кукурузы выпало 244,6 мм атмосферных осадков (108,5 %) к среднемноголетней норме 225,5 мм, ГТК составил 0,83. В 2022 г. количество атмосферных осадков оказалось значительно меньше – 132,1 мм (58,6 %) к среднемноголетней норме, ГТК – 0,43. В 2023 г. осадков выпало примерно на уровне среднемноголетней нормы – 218,2 мм, ГТК составил 0,83.

В качестве объекта исследований выступали 9 новых константных самоопыленных линий кукурузы и линия RD 329, изученная в предыдущие годы и использованная в качестве стандарта, а также 30 новых тесткроссных гибридов кукурузы, полученных от скрещивания линий с тестерами Кросс 1, Кросс 2 и Кросс 3. В качестве исходного материала для создания новых линий использованы специально созданные гибридные комбинации. Гибриды кукурузы изучены по урожайности зерна и элементам ее структуры – взаимодополняющим друг друга признакам: «количество зерен на початке» и «масса 1000 зерен», «масса 1 початка» и «количество початков на 1 растении».

Оценка общей комбинационной способности (ОКС) проведена методом полных топкроссов (Вольф и Литун, 1980).

Результаты и их обсуждение. В 2020 г. выполнены скрещивания десяти самоопыленных линий кукурузы с тремя тестерами – специально подобранными гибридами Кросс 1, Кросс 2 и Кросс 3. Получено 30 новых тесткроссных гибридов, которые были изучены в 2021–2023 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерна тесткроссных гибридов кукурузы (2021–2023 гг.)
Table 1. Grain productivity of test-cross maize hybrids (2021–2023)

Линия	Тестеры			Среднее
	Кросс 1	Кросс 2	Кросс 3	
RD 329, st	4,48	3,52	4,32	4,11
Сл 301	3,62	3,24	3,43	3,43
Сл302	3,61	3,0	3,74	3,45
Сл 303	5,05	4,14	4,54	4,58
Сл 304	3,76	3,33	3,26	3,45
Сл 305	4,59	3,40	4,24	4,08
Сл 306	4,11	4,95	4,20	4,09
Сл 307	4,07	3,93	4,29	4,10
Сл 308	4,75	4,27	4,34	4,45
Сл 309	4,84	4,22	4,42	4,49
Среднее	4,29	3,70	4,08	4,02
НСР _{0,5}	0,33	–	–	–

Средняя урожайность по опыту составила 4,02 т/га. Однако она сильно различалась по гибридам (от 3,00 до 5,05 т/га). Средняя урожайность по тесткроссам линий значительно варьировала: от 3,43 до 4,58 т/га, средняя урожайность по тесткроссам тестеров варьировала от 3,70 до 4,29 т/га.

Выделены новые высокогетерозисные гибридные комбинации, полученные от скрещивания новых линий и тестера Кросс 1: Кросс 1×Сл 303 (5,05 т/га), Кросс 1×Сл 309 (4,84 т/га), Кросс 1×Сл 308 (4,75 т/га). Наиболее урожайная гибридная комбинация с тестером Кросс 2 (Кросс 2×Сл 308) сформировала урожай зерна 4,27 т/га, с тестером Кросс 3 (Кросс 3×Сл 303) – 4,54 т/га.

Оценка комбинационной способности самоопыленных линий по признаку «урожайность зерна» в системе полных топкроссных скрещиваний позволила дифференцировать их по ценности для селекции на гетерозис. Самоопыленная линия RD 329, которая в предыдущие годы оценивалась и показала хорошую комбинационную способность, была взята в качестве стандарта. Показателем общей комбинационной способности служат оценки эффектов ОКС (gi), рассчитанные методом полных топкроссов. Стандартная линия имела средние оценки эффектов ОКС ($g_i = 0,09$), что позволило отнести ее ко второму (среднему рангу) по ОКС (табл. 2).

Таблица 2. Оценки эффектов ОКС (gi) по урожайности зерна линий кукурузы и ранги по ОКС (2021–2023 гг.)

Table 2. Estimation of GCA' effects (gi) on grain productivity of maize lines and GCA ranks (2021–2023)

Линии	Оценки эффектов ОКС(gi)	Ранги по ОКС
RD 329, st	0,09	II
Сл 301	-0,59	III
Сл302	-0,57	III
Сл 303	0,57	I
Сл 304	-0,59	III
Сл 305	0,05	II
Сл 306	0,06	II
Сл 307	0,07	II
Сл 308	0,43	I
Сл 309	0,47	I
НСР _{0,5}	0,16	–

Выделены новые самоопыленные линии Сл 303, Сл 308 и Сл 309 с высокими оценками (соответственно $g_i = 0,56$, $g_i = 0,43$ и $g_i = 0,47$), что соответствует высокой ОКС (первый ранг). Эти линии превосходят по комбинационной способности стандарт, целесообразно максимальное их использование в дальнейших программах скрещиваний. Именно с участием этих линий получены высокогетерозисные гибридные комбинации.

Ко второму рангу по ОКС отнесены новые самоопыленные линии Сл 305 ($g_i = 0,05$), Сл 306

($g_i = 0,06$), Сл 307 ($g_i = 0,07$). Вероятность получения высокоурожайных комбинаций ниже у этих линий, чем у линий, отнесенных к первому рангу. Тем не менее такая возможность имеется. Подтверждением этому служит получение высокоурожайной гибридной комбинации Кросс 1 × Сл 305 (4,59 т/га). Поэтому отказываться от дальнейшего использования их в скрещиваниях неоправданно, но, как правило, линии, отнесенные ко второму рангу, в скрещиваниях применяют в меньших объемах, чем линии первого ранга.

Новые самоопыленные линии, показавшие низкую комбинационную способность – Сл 301 ($g_i = -0,59$), Сл 302 ($g_i = -0,57$), Сл 304 ($g_i = -0,57$) – и существенно уступавшие стандартной линии RD 329 по этому показателю, не представляют ценности для гетерозисной селекции. Такие линии целесообразно выбраковывать.

Формирование высокого урожая зерна у гибридов кукурузы происходило благодаря наличию высоких значений компонентов урожая. По влиянию на увеличение урожайности зерна признаки продуктивности различались.

Важнейшими компонентами урожайности зерна кукурузы считаются взаимодополняющие признаки: «количество зерен на початке» и «масса 1000 зерен», «масса 1 початка» и «количество початков на 1 растении» (Кривошеев и Игнатьев, 2018).

Результаты структурного анализа тест-кроссных гибридов кукурузы свидетельствуют о разнообразии их по взаимодополняющим признакам «количество зерен на початке» и «масса 1000 зерен» (табл. 3).

Таблица 3. Количество зерен на початке и масса 1000 семян у тест-кроссных гибридов кукурузы (2021–2023 гг.)
Table 3. A number of grains per ear and 1000-grain weight of test-cross maize hybrids (2021–2023)

Линии	Количество зерен на початке, шт.				Масса 1000 семян, г			
	тестеры			среднее	тестеры			среднее
RD 329, st	535	510	523	523	257	265	244	256
Сл 301	536	506	514	518	303	315	307	308
Сл302	504	421	460	461	191	228	180	200
Сл 303	655	594	617	622	251	268	242	224
Сл 304	541	562	546	550	254	272	244	257
Сл 305	621	604	624	617	240	255	230	242
Сл 306	514	495	504	505	320	351	305	325
Сл 307	541	513	532	529	306	321	274	300
Сл 308	623	613	622	620	227	248	208	228
Сл 309	644	604	630	626	242	256	232	244
Среднее	571	542	557	570	260	278	247	262
НСР _{0,5}	–	–	–	28	–	–	–	25

Количество зерен на початке варьировало от 421 до 655 шт. в зависимости от гибридной комбинации. Величина признаков зависела от составляющих гибридов линий и тестеров. Так, среднее значение признака «количество зерен на початке» по тестерам варьировало от 542 до 571 шт., по линиям – от 461 до 626 шт. Максимальное количество зерен на початке (623–655 шт.) имели самые урожайные гибриды, полученные от скрещивания линий Сл 303, Сл 308, и Сл 309 с тестером Кросс 1.

Масса 1000 зерен варьировала по гибридам от 180 до 356 г. Среднее значение признака

изменялось по тестерам от 247 до 278 г, по линиям – от 200 до 308 г при среднем значении 256 г у стандарта.

Отмеченные ранее наиболее урожайные гибридные комбинации не выделялись по крупности зерна: имели средние значения массы 1000 зерен (227–251 г).

Новые тест-кроссные гибриды характеризовались разнообразием по другой паре взаимодополняющих признаков – «масса 1 початка» и «количество початков на 1 растении» (табл. 4).

Таблица 4. Масса 1 початка и количество початков на 1 растении у тест-кроссных гибридов кукурузы (2021–2023 гг.)
Table 4. One ear weight and a number of ears per plant in test-cross maize hybrids (2021–2023)

Линии	Масса 1 початка, г				Количество початков на 1 растении, шт.			
	тестеры			среднее	тестеры			среднее
RD 329, st	96	93	97	95	1,03	1,05	1,03	1,04
Сл 301	97	86	98	93	0,97	0,93	0,92	0,94
Сл302	90	84	91	88	0,91	0,79	0,84	0,85
Сл 303	136	128	134	133	1,06	1,03	1,06	1,05
Сл 304	84	79	88	84	0,91	0,87	0,92	0,90
Сл 305	117	93	109	106	0,93	0,92	0,92	0,92
Сл 306	133	116	115	121	1,01	1,01	1,00	1,01
Сл 307	119	94	112	108	1,00	1,02	0,99	1,00
Сл 308	146	141	153	147	1,26	1,16	1,22	1,21
Сл 309	131	95	119	115	1,17	1,15	1,20	1,17
Среднее	115	111	112	109	1,04	0,99	1,01	1,01
НСР _{0,5}	–	–	–	9,0	–	–	–	0,3

Масса 1 початка варьировала по гибридам от 79 до 153 г, что также зависело от составляющих комбинацию линий и тестеров. По тестерам среднее значение признака изменялось от 111 до 115 г, по линиям – от 84 до 147 г, по стандартной линии – 95 г. Все гибриды, отмеченные как лучшие по урожайности зерна, имели крупные початки (131–147 г).

По количеству початков, приходящихся на 1 растение, новые гибридные комбинации различались между собой в меньшей степени. Но все же различие отмечалось: минимальное значение – 0,79 шт., максимальное – 1,26 шт. У некоторых гибридных комбинаций имелись бесплодные растения (количество початков на 1 растении менее 1,0). Это объясняется за-

сушливостью лет проведения эксперимента. У наиболее урожайных гибридных комбинаций бесплодные растения отсутствовали. Максимальное количество початков, приходящихся на 1 растение (1,26 шт.), выявлено у высокоурожайного гибрида Кросс 1 × Сл 308. В среднем по тестерам варьирование по количеству початков было незначительным (0,99–1,04 шт.), а в среднем по линиям значительным – от 0,85 до 1,21 шт., значение у стандартной линии – 1,04 шт.

Оценка самоопыленных линий по комбинационной способности признаков продуктивности позволила дифференцировать и ранжировать их по этим признакам (табл. 5).

Таблица 5. Оценки эффектов ОКС (gi) и ранги ОКС компонентов урожайности зерна линий кукурузы (2021–2023 гг.)
Table 5. Estimation of GCA' effects (gi) and GCA ranks of the components of grain productivity of maize lines (2021–2023)

Линии	Оценки эффектов ОКС (gi)				Ранги ОКС			
	Количество зерен на початке, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса початка, г	Количество початков на 1 растении, шт.	Количество зерен на початке	Масса 1000 зерен	Масса початка	Количество початков на 1 растении
RD 329, st	-34,3	-5,6	-13,7	-0,024	III	II	III	II
Сл 301	-38,6	46,7	-15,5	-0,075	III	I	III	III
Сл302	-95,6	-61	-21,0	-0,163	III	III	III	III
Сл 303	64,9	-7,3	23,4	0,037	I	III	I	I
Сл 304	-6,8	-4,5	-25,3	-0,113	II	II	III	III
Сл 305	59,5	-19,6	-2,7	-0,090	I	III	II	III
Сл 306	-52,5	63,9	12,2	0,030	III	I	I	II
Сл 307	-28,3	39	-0,63	-0,008	III	I	II	II
Сл 308	62,7	-33,3	37,6	0,198	I	III	I	I
Сл 309	68,4	-17,9	5,59	0,161	I	III	I	I
НСР _{0,5}	7,4	6,5	4,12	0,036	–	–	–	–

Сопоставление данных таблицы 5 с данными предыдущих таблиц позволило проанализировать влияние признаков на формирование высокого урожая зерна у тесткроссных гибридов. Как было ранее отмечено, высокой комбинационной способностью по признаку «урожайность зерна» отличалась новая самоопыленная линия Сл 303, с ее участием получены высокогетерозисные тесткроссные гибриды. Эта линия характеризовалась высокой комбинационной способностью по трем элементам продуктивности из четырех изученных: количество зерен на початке (gi = 64,9), масса початка (gi = 23,4), количество початков на 1 растении (gi = 0,037). То есть благодаря высокой комбинационной способности линии по этим признакам продуктивности тесткроссные гибриды, как правило, имели высокие их значения и формировали высокий урожай зерна.

Другая комбинационно-ценная линия по урожайности зерна – Сл 308 характеризовалась высокой ОКС по признакам: количество зерен на початке (gi = 62,7), масса початка (gi = 37,6) и количество початков на растении (gi = 0,198). Благодаря высоким значениям

именно этих признаков у тесткроссных гибридов сформирован высокий урожай зерна.

У новой самоопыленной линии Сл 309 с высокой ОКС по урожаю зерна также выявлены высокие оценки эффектов ОКС по признакам «количество зерен на початке» (gi = 68,4), «масса 1 початка» (gi = 5,56) и «количество початков на растении» (gi = 0,161).

Таким образом, все новые линии кукурузы, имеющие высокую комбинационную способность по урожайности зерна, имели высокую комбинационную способность по компонентам, составляющим урожай: «количество зерен на початке», «масса 1 початка» и «количество початков на растении». Комбинационная способность по признаку «масса 1000 зерен» не влияла на урожай тесткроссных гибридов.

Новые самоопыленные линии с низкой ОКС по урожаю зерна, как правило, имели низкие оценки комбинационной способности по компонентам урожая. Так, линия Сл 302 отличалась невысоким уровнем урожая зерна тесткроссных гибридов и низкой комбинационной способностью по всем изученным признакам продуктивности: количество зерен на почат-

ке ($g_i = -95,6$), масса 1000 зерен ($g_i = -61$), масса 1 початка ($g_i = -21,0$), количество початков на 1 растение ($g_i = -0,163$). Гибриды, созданные с ее участием, имели невысокие значения компонентов урожая зерна.

Подобный результат получен по другим новым линиям Сл 301 и Сл 304, которые неперспективны для селекции на гетерозис. Комбинационная способность по элементам структуры урожая зерна у них ниже, чем у линий комбинационно-ценных, формирующих высокий урожай зерна в гибридах. Стандартная линия RD329 характеризовалась средней либо низкой ОКС по признакам продуктивности.

Выводы. Выделены новые высокогетерозисные гибриды кукурузы Кросс 1×Сл 303 (5,05 т/га), Кросс 1×Сл 308 (4,75 т/га), Кросс 1×Сл 309 (4,84 т/га), представляющие практический интерес.

Выявлены новые самоопыленные линии Сл 303 ($g_i = 0,56$), Сл 308 ($g_i = 0,43$) и Сл309 ($g_i = 0,47$) с высокой комбинационной способностью по признаку «урожайность зерна», которые рекомендуются использовать в программах скрещиваний.

Самоопыленные линии с высокой ОКС по урожайности зерна, как правило, имели более высокую ОКС по признакам продуктивности: «количество зерен на початке», «масса 1 початка» и «количество початков на растении». Комбинационная способность по признаку «масса 1000 зерен» не влияла на урожай тесткроссных гибридов.

Использование в гибридизации самоопыленных линий с высокими значениями признаков продуктивности и передающими высокие значения гибридам позволит повысить эффективность селекционного процесса.

Библиографические ссылки

1. Вольф В. Г., Литун П. П. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. С. 76.
2. Зайцев, С. А. Применение диаллельного анализа при изучении комбинационной способности кукурузы // Агарный научный журнал. 2020. № 8. С. 16–19. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp16-19
3. Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Яндиева А. Р. Изучение самоопыленных линий кукурузы по хозяйственно ценным признакам и устойчивости к биотическим факторам в предгорной зоне Кабардино-Балкарии // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 4(65). С. 50–55. DOI: 10.31677/2072-6224-2022-65-4-50-55
4. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Подбор линий кукурузы для оценки комбинационной способности в топкроссных скрещиваниях // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 5. С. 23–29. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-24-29
5. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Параметры гибридов кукурузы, создаваемых для условий недостаточного и неустойчивого увлажнения // Зерновое хозяйство России. 2017. № 1. С. 29–39.
6. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Разработка модельных величин элементов продуктивности гибридов кукурузы, создаваемых для засушливых условий // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4(16). С. 65–74. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.07
7. Лемешев Н. А., Новичихин А. П., Гуляшкин А. В. Оценка новых линий кукурузы на комбинационную способность по признаку «уборочная влажность зерна» // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 7. С. 117–121. DOI: 10.21515/1999-1703-77-117-121
8. Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарев Д. С. Оценка комбинационной способности самоопыленных семей кукурузы (S5) смешанной генетической плазмы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 2(66). С. 28–35. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-28-35
9. Хатефов Э. Б., Керв Ю. А., Бойко В. Н., Головина М. А., Аппаев С. П. Расширение генетического полиморфизма исходного селекционного материала кукурузы методом редиплоидизации тетраплоидных популяций // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4(16). С. 192–203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18
10. Hisse I., D'Andrea K., Otegui M. Diallel analysis of kernel weight and grain-filling traits in maize grown under contrasting nitrogen supply // Agronomy Journal. 2022. Vol. 115(2), DOI: 10.1002/agj2.21261
11. Rahimi Jahangirlou M., Akbari G. A., Alahdadi I., Soufizadeh S., Kumar U., Parsons D. Phenotypic Traits, Grain Yield and Yield Components of Maize Cultivars Under Combinations of Management Practices in Semi arid Conditions of Iran // International Journal of Plant Production. 2021. Vol. 15, P. 459–471. DOI: 10.1007/s42106-021-00151-7
12. Fan X. M., Zhang Yu-D., Jeffers D. P., Bi Ya-Qi, Kang M. S., Yin X. F. Combining Ability of Yellow Lines Derived from CIMMYT Populations for Use in Subtropical and Tropical Midaltitude Maize Production Environments // Crop Science. 2018. Vol. 58(1), P. 169–179. DOI: 10.2135/cropsci2017.05.0291

References

1. Vol'f V. G., Litun P. P. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu matematicheskikh metodov dlya analiza eksperimental'nykh dannykh po izucheniyu kombinatsionnoi sposobnosti [Methodological recommendations for the application of mathematical methods for the analysis of experimental data on the study of combining ability]. Khar'kov, 1980. S. 76.
2. Zaitsev, S. A. Primenenie diallel'nogo analiza pri izuchenii kombinatsionnoi sposobnosti kukuruzy [Application of diallelic analysis in the study of the combining ability of maize] // Agarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 8. S. 16–19. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp16-19
3. Kagermazov A. M., Khachidogov A. V., Yandieva A. R. Izuchenie samoopylennykh linii kukuruzy po khozyaistvenno tsennym priznakam i ustoichivosti k bioticheskim faktoram v predgornoi zone

Kabardino-Balkarii [Study of self-pollinated maize lines for economically valuable traits and resistance to biotic factors in the foothill zone of Kabardino-Balkaria] // Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet). 2022. № 4(65). S. 50–55. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-50-55

4. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Podbor linii kukuruzy dlya otsenki kombintsiionnoi sposobnosti v topkrossnykh skreshchivaniyakh [Selection of maize lines for estimating the combining ability in topcross crosses] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 5. S. 23–29. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-24-29

5. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Parametry gibridov kukuruzy, sozdavaemykh dlya uslovii nedostatochnogo i neustoichivogo uvlazhneniya [Parameters of maize hybrids developed for conditions of insufficient and unstable moisture] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 1. S. 29–39.

6. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Razrabotka model'nykh velichin elementov produktivnosti gibridov kukuruzy, sozdavaemykh dlya zasushlivykh uslovii [Development of model values of productivity elements of maize hybrids developed for arid conditions] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. № 4(16). 2018. S. 65–74. DOI: 10.25637/TVAN2018.04.07

7. Lemeshev N. A., Novichikhin A. P., Gul'nyashkin A. V. Otsenka novykh linii kukuruzy na kombinatsionnuyu sposobnost' po priznaku «uborochnaya vlazhnost' zerna» [Estimation of new maize lines for combining ability based according to the trait 'harvesting grain moisture'] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. № 7. 2019. S. 117–121. DOI: 10.21515/1999-1703-77-117-121

8. Orlyanskaya N. A., Orlyanskii N. A., Chebotarev D. S. Otsenka kombinatsionnoi sposobnosti samoopylenykh semei kukuruzy (S5) smeshannoi geneticheskoi plazmy [Estimation of combining ability of self-pollinated maize families (S5) of mixed genetic plasma] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. T. 17, № 2(66). S. 28–35. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-28-35

9. Khatefov E. B., Kerv Yu. A., Boiko V. N., Golovina M. A., Appaev S. P. Rasshirenie geneticheskogo polimorfizma iskhodnogo selektsionnogo materiala kukuruzy metodom rediploidizatsii tetraploidnykh populyatsii [Expansion of genetic polymorphism of the initial breeding material of maize by rediploidization of tetraploid populations] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2018. № 4(16). S. 192–203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18

10. Hisse I., D'Andrea K., Otegui M. Diallel analysis of kernel weight and grain-filling traits in maize grown under contrasting nitrogen supply // Agronomy Journal. 2022. Vol. 115(2), DOI: 10.1002/agj2.21261

11. Rahimi Jahangirlou M., Akbari G. A., Alahdadi I., Soufizadeh S., Kumar U., Parsons D. Phenotypic Traits, Grain Yield and Yield Components of Maize Cultivars Under Combinations of Management Practices in Semi arid Conditions of Iran // International Journal of Plant Production. 2021. Vol. 15, P. 459–471. DOI: 10.1007/s42106-021-00151-7

12. Fan X. M., Zhang Yu-D., Jeffers D. P., Bi Ya-Qi, Kang M. S., Yin X. F. Combining Ability of Yellow Lines Derived from CIMMYT Populations for Use in Subtropical and Tropical Midaltitude Maize Production Environments // Crop Science. 2018. Vol. 58(1), P. 169–179. DOI: 10.2135/cropsci2017.05.0291

Поступила: 16.08.24; доработана после рецензирования: 11.09.24; принята к публикации: 11.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кривошеев Г. Я. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнат'ев А. С. – выполнение полевых опытов и сбор данных, математическая обработка данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОРТОВ ПЛЕНЧАТОГО И ГОЛОЗЕРНОГО ОВСА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е. Н. Шаболкина, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории технолого-аналитического сервиса, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
С. Н. Шевченко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, директор СамНЦ РАН, samniish@mail.ru, shevchenko_sn@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
А. А. Бишарев, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории серых хлебов, alexbsharev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5804-3298;
Н. В. Анисимкина, старший научный сотрудник лаборатории технолого-аналитического сервиса, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова,
446254, Самарская обл., п. Безенчук, ул. Карла Маркса, д. 41; Тел.: 8 (84676) 2-11-40;
e-mail: samniish@mail.ru

Наряду с овсом пленчатым в перерабатывающих отраслях промышленности все больше используется овес голозерный, идущий как на кормовые, так и на пищевые цели без предварительного шелушения. В Среднем Поволжье в условиях резко континентального климата выращивание овса кормового и пищевого направления затруднено, поэтому селекция высокопродуктивных сортов овса с качеством зерна для конкретного направления использования является перспективной. Цель исследований – оценить урожайность и качество зерна сортов пленчатого и голозерного овса в условиях Среднего Поволжья. Установлено, что в годы исследований наибольший урожай зерна сформировали пленчатые сорта овса – 29,2 ц/га (среднее по сортам). Максимальная урожайность зерна отмечена в 2022 г. (41,6–42,4 ц/га) за счет продуктивной кустистости ($r = +0,72$ при $p < 0,05$) и массы 1000 зерен ($r = +0,82$ при $p < 0,05$). Из группы пленчатых сортов выделился сорт Сапсан с наилучшими показателями: белка – 14,6 %, крахмала – 40,2 %, жира – 5,3 % и природы зерна – 470 г/л при наименьшем значении пленчатости зерна. Данные сорта овса предпочтительнее выращивать для производства кормов и кормосмесей. В группе голозерных сортов средняя урожайность по сортам колебалась на уровне сорта-стандарта Першерон и составила 16,8 ц/га. Наибольшая урожайность была сформирована сортами в 2023 г. (24,6–24,7 ц/га) и обусловлена продуктивной кустистостью ($r = +0,68$ при $p < 0,05$) и массой зерна в колосе ($r = +0,80$ при $p < 0,05$). Голозерные сорта овса с высоким содержанием белка (18,7 %), крахмала (53,0 %), жира (6,4 %), низкой амилолитической активностью зерна (323 с) и натурой зерна (597 г/л), соответствующей требованиям ГОСТ 28673-2019, пригодны в продовольственных целях (крупяное производство, продукты функционального назначения, хлебопечение).

Ключевые слова: овес пленчатый и голозерный (*Avena sativa* subspecies *nudisativa*), урожайность, качество зерна, биохимический состав зерна.

Для цитирования: Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Бишарев А. А., Анисимкина Н. В. Урожайность и качество зерна сортов пленчатого и голозерного овса в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 40–45. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-40-45.



PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF HULLED AND HULLES OAT VARIETIES IN THE MIDDLE VOLGA REGION

E. N. Shabolkina, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for technical and analytical service, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
S. N. Shevchenko, Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of RAS, head of the SamRC RAS, samniish@mail.ru, shevchenko_sn@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
A. A. Bisharev, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory of brown bread, alexbsharev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5804-3298;
N. V. Anisimkina, senior researcher of the laboratory for technical and analytical service, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Samarsky Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov,
a branch of the Samarsky Federal Research Center RAS,
446254, Samara region, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; tel.: 8 (84676) 2-11-40;
e-mail: samniish@mail.ru

Along with hulled oats, hulls oats are increasingly used in the processing industries, both for feed and food purposes without preliminary hulling. In the Middle Volga region, in the conditions of a sharply continental climate, the cultivation of oats for feed and food purposes is difficult, therefore, breeding of highly productive oat varieties with grain quality for a specific area of use is promising. The purpose of the current study was to estimate productivity and grain quality of hulled and hulls oat varieties in the Middle Volga region. There has been found that during the years of study, hulled oat varieties produced the highest grain yield of 29.2 hwt/ha (a mean value among the varieties). The maximum grain yield was obtained in 2022 with 41.6–42.4 hwt/ha due to productive tillering ($r = +0.72$ at $p < 0.05$).

and 1000-grain weight ($r = +0.82$ at $p < 0.05$). The variety 'Sapsan' was the best one in the group of hulled varieties with the best indicators of protein 14.6 %, starch 40.2 %, oil 5.3 % and grain nature weight 470 g/l with the lowest value of grain husk content; these oat varieties are preferable to grow for the production of feed and feed mixtures. In the group of hulls varieties, the mean productivity among the varieties varied at the level of the standard variety 'Persheron' and was 16.8 hwt/ha. The largest productivity was formed by the varieties in 2023 with 24.6-24.7 hwt/ha and it was due to productive tillering ($r = +0.68$ at $p < 0.05$) and grain weight per ear ($r = +0.80$ at $p < 0.05$). Hulls oat varieties with a high content of protein 18.7 %, starch 53.0 %, oil 6.4 %, low amylolytic activity of grain 323 s and grain nature weight 597 g/l, corresponding to the requirements of GOST 28673-2019 are suitable for food purposes (groats production, functional products, bakery).

Keywords: *hulled and hulls oats (Avena sativa subspecies nudisativa), productivity, grain quality, biochemical composition of grain.*

Введение. Овес не только кормовая культура, но и ценный продукт питания. Вид неприхотлив, вынослив, произрастает в различных почвенно-климатических зонах в отличие от пшеницы, более зависимой от погодных условий. Овес с давних времен высоко ценился как продовольственная культура и составлял основу питания в регионах с суровым климатом. Зерно овса обладает высокой питательной ценностью, содержит основные микро- и макроэлементы, витамины, антиоксиданты, пищевые растворимые волокна β -глюканы – все, что необходимо для здорового питания человека и полноценного фуража для животных (Лоскутов и Полонский, 2017).

Белок овса по составу аминокислот превосходит белок основных зерновых культур по качеству, содержит все незаменимые аминокислоты и оценен как мерило питательности – кормовая единица (Anderson, 2014; Шаболкина и др., 2020; Исачкова и др., 2022). Овес является очень важной зернофуражной культурой и для повышения питательной ценности входит в состав комбикормов и кормосмесей (Андреев и др., 2016; Вологжанина и Баталова, 2023). В настоящее время биобезопасность и питательные свойства потребляемых продуктов имеют первостепенное значение, и в перерабатывающих отраслях промышленности овес прочно занял свое место, но на пищевые цели приходится значительно меньшая доля зерна, чем при производстве кормов. Продукты переработки из овса, а именно сеяная и цельнозерновая мука, используются для диетического и детского питания, в качестве добавки в хлебопечении, отруби (специально очищенные), содержащие нерастворимые и растворимые (β -глюканы) пищевые волокна – как продукт функционального назначения для лечебно-профилактических целей (Полонский и др., 2019; Шаболкина и др., 2019; Полонский и др., 2020). В крупяной промышленности из овса вырабатывают различные крупы из целого и дробленного зерна, хлопья, толокно, полезные для работы желудочно-кишечного тракта. Производство функциональных продуктов, содержащих полезные овсяные ингредиенты, с оздоравливающим эффектом является первоочередной задачей, стоящей перед современной пищевой индустрией.

Наряду с овсом пленчатым в отраслях сельскохозяйственной и промышленной переработки все больше используется овес голозер-

ный, идущий как на кормовые, так и на пищевые цели без предварительного шелушения. Он более технологичен, за счет чего при производстве той или иной продукции снижается ее стоимость и трудовые затраты, что вызывает большую заинтересованность у товаропроизводителей во многих странах. Овес голозерный по продуктивности уступает пленчатому формам, но высокое содержание белка (18,0 % и более, белковый комплекс характеризуется преобладанием высокомолекулярных глютелинов) и жира в зерне (до 6,9 %, у пленчатых сортов в 1,5 раза меньше, благоприятный жирно-кислотный состав липидов зерна, высокая энергетическая ценность) делают селекцию голозерных форм овса очень актуальной (Красильников и др., 2018). Существуют причины, по которым голозерный овес не получил широкого распространения в кормопроизводстве и крупяной промышленности, влияющие на процесс его переработки, а именно: содержание зерен с опушением и небольшое количество в сортах голозерного овса пленчатых зерен. Но в ряде исследований отмечено, что выход готовой продукции при переработке голозерного овса практически достигает 90 %, так как количество ворсинок на ядре голозерного овса значительно меньше, чем у пленчатых сортов, и примесь пленчатых зерен (в пределах 2,2–5,0 %) у голозерных сортов можно легко отсортировать (Андреев и др., 2016., Кузьмич и др., 2021).

В Среднем Поволжье в условиях резко континентального климата с частыми засухами, суховеями или избыточным увлажнением выращивание овса кормового и пищевого направления затруднено, поэтому селекция высокопродуктивных сортов овса, устойчивых к действию абиотических и биотических факторов, с качеством зерна для конкретного направления использования является перспективной.

Цель исследований – оценить урожайность и качество зерна сортов пленчатого и голозерного овса в условиях Среднего Поволжья.

Материал и методы исследований. Исследования проводили в Самарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (Самарская обл.) в течение 2019–2023 годов. В качестве экспериментального материала использовали образцы зерна сортов овса пленчатого – Конкур (st), Драгун, Сапсан и голозерного – Першерон (st), Бекас, Багет. Опыты закладывали на полях селекцион-

ного севооборота, предшественник – чистый пар. Учетная площадь делянок 10 м² в четырехкратной повторности в питомниках конкурсного испытания при систематическом размещении, агротехника общепринятая для зоны.

Оценку качества зерна овса проводили в соответствии с национальными стандартами Российской Федерации: азот белковый по ГОСТ 10846-91, крахмал по ГОСТ 10845-98, содержание сахара по Бертрану ГОСТ 26176-2019, жир по ГОСТ 29033-91, показатель «число падения» по Хагбергу-Пертену (ГОСТ 30498-97), натура зерна по ГОСТ 10840-2017, пленчатость по ГОСТ 10843-76. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по Б. А. Доспехову.

Погодные условия в 2019 и 2020 гг. характеризовались колеблющимся температурным режимом: низкими температурами (ниже среднемесячных значений на 2,0–8,0 °С) в начале вегетации и в фазу налива и созревания зерна, суховеями в течение 4–6 дней. В 2021 г. вегетация проходила при повышенном температурном режиме – на 1,5–9,0 °С выше среднемесячных значений, наблюдались засухи, год отмечен как острозасушливый (гидротермический коэффициент 0,39), хотя количество

осадков весной превышало среднемесячные значения на 12–14 мм. В 2022 г. развитие растений проходило при благоприятных условиях: пониженный температурный режим (на 0,5–4,8 °С ниже нормы) и достаточное количество осадков (134–176 % от нормы). Погодные условия 2023 г. в целом были благоприятными для роста и развития овса, в начале вегетации осадки отмечались на уровне среднемесячных значений, в конце вегетации соответствовали 85 % от нормы, температурный режим колебался незначительно и был в пределах среднемесячных значений.

Результаты и их обсуждение. В засушливых условиях Среднего Поволжья продуктивность ярового овса в основном находится в тесной зависимости от условий среды, и сорта реагируют различно на изменяющиеся условия произрастания. В зависимости от условий вегетации урожай зерна в группе пленчатых сортов колебался в годы исследований от 13,6 ц/га (2019 г.) до 42,4 ц/га (2022 г.), в среднем урожайность зерна пленчатых сортов была на уровне сорта-стандарта Конкур – 29,4 ц/га, достоверных различий между сортами не было (см. таблицу).

Урожай зерна и биохимический состав зерна сортов пленчатого и голозерного овса (2019–2023 гг.)

Yield and biochemical composition of grain of hulled and hulls oat varieties (2019–2023)

Сорт	Урожай зерна, ц/га	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Крахмал, %	Сахар, %	Жир, %	Число падения, с	Натура, г/л	Пленчатость %
Пленчатый овес									
Конкур, st	29.4 16,7–42,0	31.9 27,0–35,4	14.3 12,5–14,8	38.6 32,0–45,1	1.0 0,7–1,4	4.3 3,8–4,7	128 83–140	460 408–515	28.0 25,0–34,0
Драгун	29.7 15,4–42,4	32.5 29,0–35,2	13.8 12,5–14,8	37.5 32,3–45,0	1.2 0,8–1,5	4.0 3,4–4,6	135 93–151	442 396–515	30.5 25,6–37,0
Сапсан	28.6 13,6–41,6	31.8 28,0–35,9	14.6 13,6–15,6	40.2 36,1–46,0	1.0 0,7–1,4	5.3 4,8–5,8	120 75–144	470 428–510	24.9 22,0–28,0
Среднее по сортам	29,2	32,1	14,2	38,8	1,1	4,5	128	457	27,8
НСР _{0.5}	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	15	3,0
Коэффициент вариации	4,7–10,2	3,8–9,5	3,0–10,2	4,8–8,3	7,1–10,8	6,9–8,6	6,6–11,8	3,5–5,0	9,0–19,5
Голозерный овес									
Першерон, st	16.5 6,2–24,6	22.4 19,5–26,4	18.7 15,3–20,7	52.6 50,9–57,6	1.8 1,5–2,1	6.5 5,7–7,7	307 301–325	607 560–660	–
Бекас	17.0 7,3–24,7	20.7 17,5–25,6	18.7 15,6–20,5	53.0 51,0–55,1	1.9 1,7–2,3	6.7 5,8–7,8	339 308–352	593 512–653	–
Багет	16.9 8,0–24,7	22.4 18,6–30,0	18.6 15,6–20,5	54.4 52,3–57,1	1.8 1,6–2,2	6.1 5,4–7,1	324 305–345	591 514–648	–
Среднее по сортам	16,8	21,8	18,7	53,0	1,8	6,4	323	597	–
НСР _{0.5}	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	F _i < F _t	14	F _i < F _t	
Общая НСР _{0.5}	3,5	2,4	1,4	2,9	0,5	0,8	32	20	–
Коэффициент вариации C _v , %	1,5–12,6	4,3–11,1	1,1–3,1	2,6–6,3	2,0–3,2	7,2–10,9	3,2–6,4	1,9–6,8	–

Примечание. В числителе – среднее значение показателей качества зерна; в знаменателе – пределы варьирования показателей качества зерна.

В группе голозерных сортов урожайность зерна варьировала в пределах от 6,2 ц/га (2019 г.) до 24,7 ц/га (2023 г.), средняя урожайность по сортам колебалась на уровне сорта-стандарта Першерон и составила 16,8 ц/га, различия между сортами в пределах группы не достоверны. Максимальная урожайность зерна была сформирована пленчатыми сортами овса в 2022 г. (41,6–42,4 ц/га) за счет продуктивной кустистости ($r = +0,72$ при $p < 0,05$) и массы 1000 зерен ($r = +0,82$ при $p < 0,05$). Голозерные сорта овса сформировали наибольшую урожайность в 2023 г. (24,6–24,7 ц/га), и обусловлена она продуктивной кустистостью ($r = +0,68$ при $p < 0,05$) и массой зерна в колосе ($r = +0,80$ при $p < 0,05$). Продуктивность ярового овса зависела в основном от гидротермических условий в период трубкования и налива зерна: осадки положительно на значимом уровне коррелировали с урожаем зерна ($r = +0,55$ при $p < 0,05$), а температурный режим в этот период находился в отрицательной связи с данным показателем ($r = -0,45$ при $p < 0,05$).

В селекции овса наряду с задачей создания высокопродуктивных сортов особое значение приобретает качество зерна, которое должно соответствовать требованиям, предъявляемым конкретному направлению использования: кормовому или пищевому. В зерне овса, предназначенного для продовольственной промышленности, содержание белка и крахмала не нормируется ГОСТ 28673-2019, но без данных показателей полная качественная оценка невозможна. На качество зерна сортов пленчатого и голозерного овса значительное влияние в условиях Среднего Поволжья оказывают климатические условия зоны выращивания, сорт. В годы исследований содержание белка в зерне в группе пленчатых сортов варьировало в пределах 12,5–15,6 %, в среднем по сортам составило 14,2 %, по отношению к стандарту (сорт Конкур) незначительное преимущество показал сорт Сапсан (прибавка к стандарту 0,3 %). В группе голозерных сортов содержание белка варьировало по годам в зависимости от сорта и внешних условий от 15,3 до 20,7 %, в среднем по сортам составило 18,7 % (табл.).

Сорта Першерон (st) и Бекас накопили наибольшее количество белка – 18,7 %. В многолетних исследованиях 2019–2023 гг. сорта голозерного овса по содержанию белка показали значительное преимущество по сравнению с пленчатыми сортами на 4,1–4,8 %. Отмечено, что условия влагообеспеченности и температурный режим влияют на накопление белковых веществ в зерне ярового овса, и наибольшее количество белка формируется в очень сухие годы. В 2021 г. овес сформировал максимальное содержание белка в зерне за время проведения опытов: группа голозерных сортов – 20,5–20,7 %, группа пленчатых сортов – 14,8–15,6 % (пленчатый овес уступил по данному показателю на 5,1–5,7 %). Жаркая и сухая погода, дефицит влаги в период созревания и налива зерна в 2021 г. способствовали

сокращению данной фазы на 7–8 дней от среднелетних значений и значительному накоплению массовой доли белка в зерне сортов овса. Белковость и урожайность зерна сопряжены обратной достоверной связью: в группе пленчатых сортов $r = -0,73$ при $p < 0,05$, в группе голозерных сортов $r = -0,68$ при $p < 0,05$. В 2022 г. погодные условия благоприятствовали росту и развитию растений, и питательные вещества пошли на развитие вегетативной массы и формирование высокого урожая зерна – 42,0 ц/га (пленчатые сорта) и 22,2 ц/га (голозерные сорта) при снижении массовой доли белка в зерне: группа пленчатых сортов – 12,5–14,8 %, группа голозерных сортов – 15,3–15,6 %. В годы исследований при высокой урожайности овса разница в содержании белка в зерне между голозерными и пленчатыми сортами была наименьшей – 0,8–2,8 %.

Крахмал – «энергетический» углевод является основной составляющей зерна, более высокая доля его отмечена у сортов голозерного овса – 52,6–54,4 % с колебаниями по годам – 50,9–57,6 %. Учитывая низкую амилолитическую активность зерна («число падения» в среднем по сортам 323 с), перспективы в хлебопекарной отрасли и возможности использования зерна при производстве крахмала у овса голозерного большие. На содержание крахмала практически не повлияли условия произрастания, данный показатель характеризовался стабильностью (в группе пленчатых сортов $C_v = 4,8$ –8,3 %, в группе голозерных сортов $C_v = 2,6$ –6,3 %), достоверных различий между сортами в пределах групп не отмечено. Концентрация сахаров в зерне овса варьировала от 0,7 до 2,3 %, наибольшие значения данного показателя зарегистрированы у сортов голозерного овса (на 0,8 % больше, чем у пленчатых сортов), также существенных различий между сортами в пределах групп не выявлено.

Содержание сырого жира в зерне овса за годы исследований варьировало у пленчатых сортов от 3,4 до 5,8 % (среднее по сортам 4,5 %) и у голозерных сортов от 5,4 до 7,8 % (среднее по сортам 6,4 %), высокая массовая доля сырого жира в зерне овса, особенно у голозерных сортов, свидетельствует о питательной ценности как зерна, так и производимых из него продуктов. Максимальные значения отмечены у сортов пленчатого овса Сапсан – 5,3 % (прибавка к сорту-стандарту 1,0 %) и у голозерного овса Бекас – 6,7 % (прибавка к сорту-стандарту 0,2 %), данные сорта во все годы исследований имели более высокие значения по сравнению с другими сортами по содержанию жира. Пленчатые сорта характеризовались более стабильным содержанием жира в зерне с наименьшим варьированием по годам ($C_v = 6,9$ –8,6 %), но и низким его содержанием по сравнению с голозерными сортами, которые отличались большим варьированием этого показателя ($C_v = 7,2$ –10,9 %) в различные по погодным условиям годы.

Амилолитическая активность зерна, определяемая по «числу падения», у сортов голозерного овса была очень низкой, что свидетельствует об отсутствии активной амилазы (среднее по сортам 323 с). Выделился сорт Бекас с максимальным значением «числа падения» 339 с, что достоверно превышает сорт-стандарт Першерон на 32 с. В зерне пленчатых сортов активность α -амилазы была гораздо выше: «число падения» 120–135 с, различия между сортами в пределах группы недостоверны. Расчеты коэффициентов вариации показали, что показатель «число падения» в годы исследований в группе пленчатых сортов варьировал в средних пределах – $C_v = 6,6$ – $11,8$ %, в группе голозерных сортов был относительно стабильным – $C_v = 3,2$ – $6,4$ %.

К параметру, характеризующему продовольственные качества овса, а именно крупные достоинства, относится натура зерна, влияющая на процесс выработки крупы (не ниже 550 г/л, нормируется ГОСТ 28673-2019). Размах варьирования натуры зерна в группе пленчатых сортов составил 396–515 г/л, в группе голозерных сортов – 512–660 г/л в зависимости от сорта и года выращивания. По данному показателю голозерные сорта овса (среднее по сортам 597 г/л) имели достоверное превосходство над пленчатыми сортами (среднее по сортам 457 г/л). За годы исследований натура у сортов пленчатого овса не соответствовала требованиям ГОСТ, то есть была менее 550 г/л, но различия между сортами были достоверны. Сорта голозерного овса соответствовали ГОСТу, и поэтому они могут быть использованы в крупяной промышленности, но по величине данного показателя сорта существенно не различались. При оценке вариабельности установлено, что натура зерна пленчатого и голозерного овса относится к слабо варьирующим признакам: $C_v = 3,5$ – $5,0$ % и $C_v = 1,9$ – $6,8$ %.

Показатель пленчатости зерна овса не регламентируется ГОСТ, но при использовании данной культуры в продовольственных целях, в том числе и в крупяной промышленности, от него зависит выход ядра. В зависимости от сорта и климатических условий произрастания пленчатость зерна изменя-

лась в пределах от 22,0 до 37,0 % (среднее по сортам 27,8 %). Среди изучаемых образцов минимальные показатели отмечены у сорта Сапсан – 24,9 % (на 3,1 % достоверно ниже, чем у сорта-стандарта Конкур), максимальные у сорта Драгун – 30,5 %, данный сорт во все годы исследований имел наибольшие показатели. Высокие значения пленчатости снижают питательную ценность зерна (Полонский и др., 2019), поэтому данный фактор необходимо учитывать при ведении селекционных программ на качество зерна. Данный признак варьировал в средних пределах: $C_v = 9,0$ – $13,1$ %, но при ухудшении условий вегетации изменчивость признака сильно увеличивалась: $C_v = 19,5$ %, что свидетельствует о возможности ведения селекции сортов овса с меньшей долей пленок.

Выводы. В среднем за годы исследований в условиях Среднего Поволжья наибольший урожай зерна сформировали пленчатые сорта овса – 29,2 ц/га (среднее по сортам). Максимальная урожайность зерна отмечена в 2022 г. – 41,6–42,4 ц/га за счет продуктивной кустистости ($r = +0,72$ при $p < 0,05$) и массы 1000 зерен ($r = +0,82$ при $p < 0,05$). Из группы пленчатых сортов выделился сорт Сапсан с наилучшими показателями белка (14,6 %), крахмала (40,2 %), жира (5,3 %) и натуры зерна (470 г/л) при наименьшем значении пленчатости зерна, данные сорта овса предпочтительнее выращивать для изготовления кормов и кормосмесей.

В группе голозерных сортов средняя урожайность по сортам колебалась на уровне сорта-стандарта Першерон и составила 16,8 ц/га. Наибольшая урожайность была сформирована сортами в 2023 г. – 24,6–24,7 ц/га, обусловлена она продуктивной кустистостью ($r = +0,68$ при $p < 0,05$) и массой зерна в колосе ($r = +0,80$ при $p < 0,05$). Голозерные сорта овса с высоким содержанием белка (18,7 %), крахмала (53,0 %), жира (6,4 %), низкой амилолитической активностью зерна (323 с) и натурой зерна 597 г/л, соответствующей требованиям ГОСТ 28673-2019, пригодны на продовольственные цели (крупяное производство, продукты функционального назначения, хлебопечение).

Библиографические ссылки

1. Андреев Н.Р., Баталова Г.А., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Шевченко С.Н. Оценка технологических свойств некоторых сортов голозерного овса как сырья для производства крахмала // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 1(17). С.83–88.
2. Вологжанина Е.Н., Баталова Г.А. Влияние метеорологических факторов на формирование урожайности голозерного овса в Кировской области // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 1. С. 25–29. DOI: 10.31857/S2500262723010052
3. Исачкова О.А., Логинова А.О., Коркина В.И. Содержание аминокислот в зерне голозерного овса при различных условиях возделывания // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. № 5(52). С. 15–23. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-2
4. Красильников В.Н., Баталова Г.А., Попов В.С., Сергеева С.С. Жирно-кислотный состав голозерного овса отечественной селекции // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 4. С. 13–15. DOI: 10.31857/S250026270000549-8
5. Кузьмич М.А., Дятлова Н.А., Кузьмич Л.С. Продуктивность и качество зерна новых линий пленчатого и голозерного овса // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2(38). С.129–136. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-129-136
6. Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюкана в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 4. С. 646–657. DOI: 10.15389/agrobilogy.2017.4.646rus

7. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Оценка генотипов овса на содержание б-глюканов в зерне на основании его физических характеристик // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 1. С. 42–52. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.45rus
8. Полонский В. И., Сури́н Н. А., Герасимов С. А., Липшин А. Г., Сумина А. В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(6). С. 683–690. DOI: 10.18699/VJ19.541
9. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Баталова Г. А., Васин А. В., Анисимкина Н. В., Бишарев А. А. Изучение биологической ценности белка зерна овса голозерного // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2(34). С. 78–33. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11173
10. Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Шевченко С. Н., Баталова Г. А., Бишарев А. А. Использование зерна овса голозерного в хлебопечении // Достижения науки и техники. 2019. № 11(33). С. 74–77. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11116
11. Anderson, O. D. The Spectrum of Major Seed Storage Genes and Proteins in Oats (*Avena sativa*) // PLoS One. 2014. Vol. 9, № 7. P. e83569.

References

1. Andreev N. R., Batalova G. A., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Shevchenko S. N. Otsenka tekhnologicheskikh svoystv nekotorykh sortov golozernogo ovsa, kak syr'ya dlya proizvodstva krakhmala [Estimation of technological properties of some varieties of hulles oats as raw materials for starch production] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2016. № 1(17). S. 83–88.
2. Vologzhanina E. N., Batalova G. A. Vliyanie meteorologicheskikh faktorov na formirovanie urozhainosti golozernogo ovsa v Kirovskoi oblasti [The effect of meteorological factors on the formation of hulles oat productivity in the Kirov region] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2023. № 1. S. 25–29. DOI: 10.31857/S2500262723010052
3. Isachkova O. A., Loginova A. O., Korkina V. I. Soderzhanie aminokislot v zerne golozernogo ovsa pri razlichnykh usloviyakh vozdelyvaniya [Amino acid content in hulles oat grain under various cultivation conditions] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2022. № 5(52). S. 15–23. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-2
4. Krasil'nikov V. N., Batalova G. A., Popov V. S., Sergeeva S. S. Zhirno-kislotnyi sostav golozernogo ovsa otechestvennoi selektsii [Fatty acid composition of hulles oats of domestic breeding] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2018. № 4. S. 13–15. DOI: 10.31857/S250026270000549-8
5. Kuz'mich M. A., Dyatlova N. A., Kuz'mich L. S. Produktivnost' i kachestvo zerna novykh linii plenchatogo i golozernogo ovsa [Productivity and grain quality of new lines of hulled and hulles oats] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 2(38). S. 129–136. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-129-136
6. Loskutov I. G., Polonskii V. I. Seleksiya na sodержание β -glyukana v zerne ovsa kak perspektivnoe napravleniye dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya, syr'ya i furazha [Breeding for β -glucan content in oat grain as a promising direction for obtaining healthy food products, raw materials, and forage] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2017. T. 52, № 4. S. 646–657. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.4.646rus
7. Polonskii V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Otsenka genotipov ovsa na sodержание b-glyukanov v zerne na osnovanii ego fizicheskikh kharakteristik [Evaluation of oat genotypes for β -glucan content in grain based on its physical characteristics] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2020. T. 55, № 1. S. 42–52. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.45rus
8. Polonskii V. I., Surin N. A., Gerasimov S. A., Lipshin A. G., Sumina A. V., Zyute S. Izuchenie sortov ovsa (*Avena sativa* L.) razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya po kachestvu zerna i produktivnosti [Study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of different geographical origins according to grain quality and productivity] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. № 23(6). S. 683–690. DOI: 10.18699/VJ19.541
9. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Batalova G. A., Vasin A. V., Anisimkina N. V., Bisharev A. A. Izuchenie biologicheskoi tsennosti belka zerna ovsa golozernogo [Study of the biological value of protein in hulles oat grain] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 2(34). S. 78–33. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11173
10. Shabolkina E. N., Anisimkina N. V., Shevchenko S. N., Batalova G. A., Bisharev A. A. Ispol'zovanie zerna ovsa golozernogo v khlebopechenii [The use of hulles oat grain in bread baking] // Dostizheniya nauki i tekhniki. 2019. № 11(33). S. 74–77. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11116
11. Anderson, O. D. The Spectrum of Major Seed Storage Genes and Proteins in Oats (*Avena sativa*) // PLoS One. 2014. Vol. 9, № 7. P. e83569.

Поступила: 08.08.24; доработана после рецензирования: 17.09.24; принята к публикации: 17.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шаболкина Е. Н. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко С. Н. – концептуализация исследования; Бишарев А. А. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Анисимкина Н. В. – выполнение химико-технологических анализов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Иванисова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, kameneva.anka2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1466-250X;

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

О. А. Дубинина, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, dubinina.1881@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2768-4935;

Л. И. Майдабуро, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, lunyamay174@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-0415-938X;

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548

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

Самым важным в производстве твердой пшеницы является получение зерна высокого качества. В связи с этим в условиях Ростовской области проведено изучение физико-химических свойств данной культуры и выделен ряд источников для селекции на высокое качество зерна. В качестве объекта исследований использовали 30 сортов и линии озимой твердой пшеницы собственной селекции, в качестве стандарта – сорт Кристелла. Крупное зерно (масса 1000 зерен свыше 40 г) сформировали 12 образцов озимой твердой пшеницы. Согласно ГОСТ по натуре зерна к I классу относились 26 сортов и линий (770–809 г/л). В 2021–2023 гг. стекловидность варьировала от 69 до 93 %. На данный признак оказывали влияние погодные условия в годы исследований: высокостекловидное зерно (100%) было сформировано в благоприятном 2022 г., мучнистое (51 %) – в 2023 году. Содержание белка в зерне варьировало по годам от 13,70 % в 2022 г. до 14,91 % в 2021 году. Средний показатель содержания клейковины у образцов озимой твердой пшеницы был стабильно высоким по годам и колебался в пределах от 28,0 % (2022 г.) до 30,1 % (2021 г.). Средние по годам показатели содержания каротиноидов значительно колебались от 472 мкг/% (2023 г.) до 718 мкг/% (2021 г.). Наблюдались и значительные колебания по образцам. Благодаря разнообразию погодных условий в годы исследований по комплексу физико-химических свойств выделилось 6 сортов и линий озимой твердой пшеницы: Диона, Динас, Придонье, 691/20, 390/20, 1377/20.

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, сорт, качество зерна, каротиноиды, макаронные изделия.

Для цитирования: Иванисова А. С., Марченко Д. М., Дубинина О. А., Майдабуро Л. И., Кравченко Н. С. Физико-химические свойства зерна перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы в условиях юга Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 46–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-46-51.



PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF GRAIN OF PROMISING WINTER DURUM WHEAT VARIETIES AND LINES IN THE SOUTH OF THE ROSTOV REGION

A. S. Ivanisova, junior researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, kameneva.anka2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1466-250X;

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

O. A. Dubinina, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, dubinina.1881@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2768-4935;

L. I. Maidaburo, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, lunyamay174@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-0415-938X;

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548

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

The most important thing in the production of durum wheat is to obtain high-quality grain. In this regard, in the Rostov Region, there has been studied the physical and chemical properties of this crop and identified several sources for high-quality grain breeding. The objects of study were 30 winter durum wheat varieties and lines of our own breeding, with the standard variety 'Kristella'. Large grain (1000-grain weight over 40 g) was formed by 12 winter durum wheat samples. According to the GOST, 26 varieties and lines (770–809 g/l) belonged to the 1st class of grain. In 2021–2023, grain hardness varied from 69 % to 93 %. This trait was influenced by weather conditions during the

years of study, grain with large hardness (100 %) was formed in the favorable 2022, in 2023 the grain was floury (51 %). The protein percentage in grain varied over the years from 13.70% in 2022 to 14.91 % in 2021. The mean gluten content of winter durum wheat samples was consistently high over the years and ranged from 28.0 % (2022) to 30.1 % (2021). The mean carotenoid content over the years varied significantly from 472 µg/% (2023) to 718 µg/% (2021). There were significant fluctuations among the samples. Due to the diversity of weather conditions during the years of study, there have been identified 6 winter durum wheat varieties and lines 'Diona', 'Dinas', 'Pridonie', '691/20', '390/20', '1377/20' according to the complex of physical and chemical properties.

Keywords: winter durum wheat, variety, grain quality, carotenoids, pasta.

Введение. За последние годы интерес к твердой пшенице значительно вырос. Возрастающая потребность в зерне данной культуры, дифференциация цен на него в зависимости от качества, а также улучшения системы заготовок повысили заинтересованность хозяйств в его производстве и создали реальные предпосылки для увеличения производства высококачественного зерна (Ложкин и др., 2024).

Твердая пшеница ценится за свои высокие макаронно-крупяные качества. Из нее производят муку, которая отличается высоким содержанием белка (12–15 %) и хорошими физико-химическими свойствами. Такая мука отлично подходит для производства макаронных изделий, вермишели, манной крупы и лучших сортов кондитерских изделий. Это обусловлено наличием в зерне твердой пшеницы большого количества клейковины, придающей готовым изделиям эластичность и упругость (Мальчиков и Мясникова, 2023; Иванисова и др., 2023).

В целом данная культура является ценным зерновым растением, обладающим уникальными свойствами и широким спектром применения (Цыганков и др., 2022).

Одна из важных задач выращивания твердых пшениц – создание сортов с высоким качеством зерна, способных сохранять его даже

при неблагоприятных условиях (Малкандуев и др., 2022).

В связи с этим перед нами была поставлена цель оценить физико-химический состав сортов и линий озимой твердой пшеницы и выделить источники изученных показателей.

Материал и методика исследований. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на опытных участках ФГБНУ «АНЦ «Донской» лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы. В качестве объекта исследований послужили 30 сортов и линии собственной селекции, в качестве стандарта использовали сорт Кристелла. Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed S рядовым способом с нормой высева 450 всхожих зерен на 1 м². Площадь делянок – 10 м², повторность – шестикратная.

Качество зерна у сортов и линий озимой твердой пшеницы определяли по ГОСТ: количество клейковины – ГОСТ Р 54478-2011, натура зерна – ГОСТ 10840-2017, содержание белка – ГОСТ 10846-91, стекловидность – ГОСТ Р 70629-2023, содержание каротиноидов – колориметрическим методом.

Погодные условия в годы изучения существенно различались, что позволило всесторонне изучить показатели качества зерна твердой озимой пшеницы (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические показатели за годы проведения исследований
Table 1. Weather indicators for the years of study

Год	Осадки, мм	Температура воздуха, °C
2021	569,2	11,70
2022	609,2	11,06
2023	569,0	11,55
Среднемноголетние данные (норма)	582,4	9,65

Метеорологические условия в 2020/2021 с.-х. году отличались от средних многолетних данных по количеству выпавших осадков. Всего выпало 569,2 мм (97,7 % от среднемноголетней), в том числе осенью 28,4 мм (21,6 %), зимой 117,3 мм (80,5 %), весной 243,9 мм (185,1 %), летом 179,6 мм (103,1 %). Сложившиеся погодные условия позволили получить достаточно высокую урожайность в питомниках сортоиспытания по сидеральному пару – от 8,0 до 10,0 т/га.

Благоприятные климатические условия для формирования высокого урожая зерна отмечались в 2021/2022 с.-х. году. Пониженный температурный режим в период колошения и во время налива зерна позволил реализовать высокий потенциал урожайности твердой пшеницы (от 10,0 до 12,0 т/га).

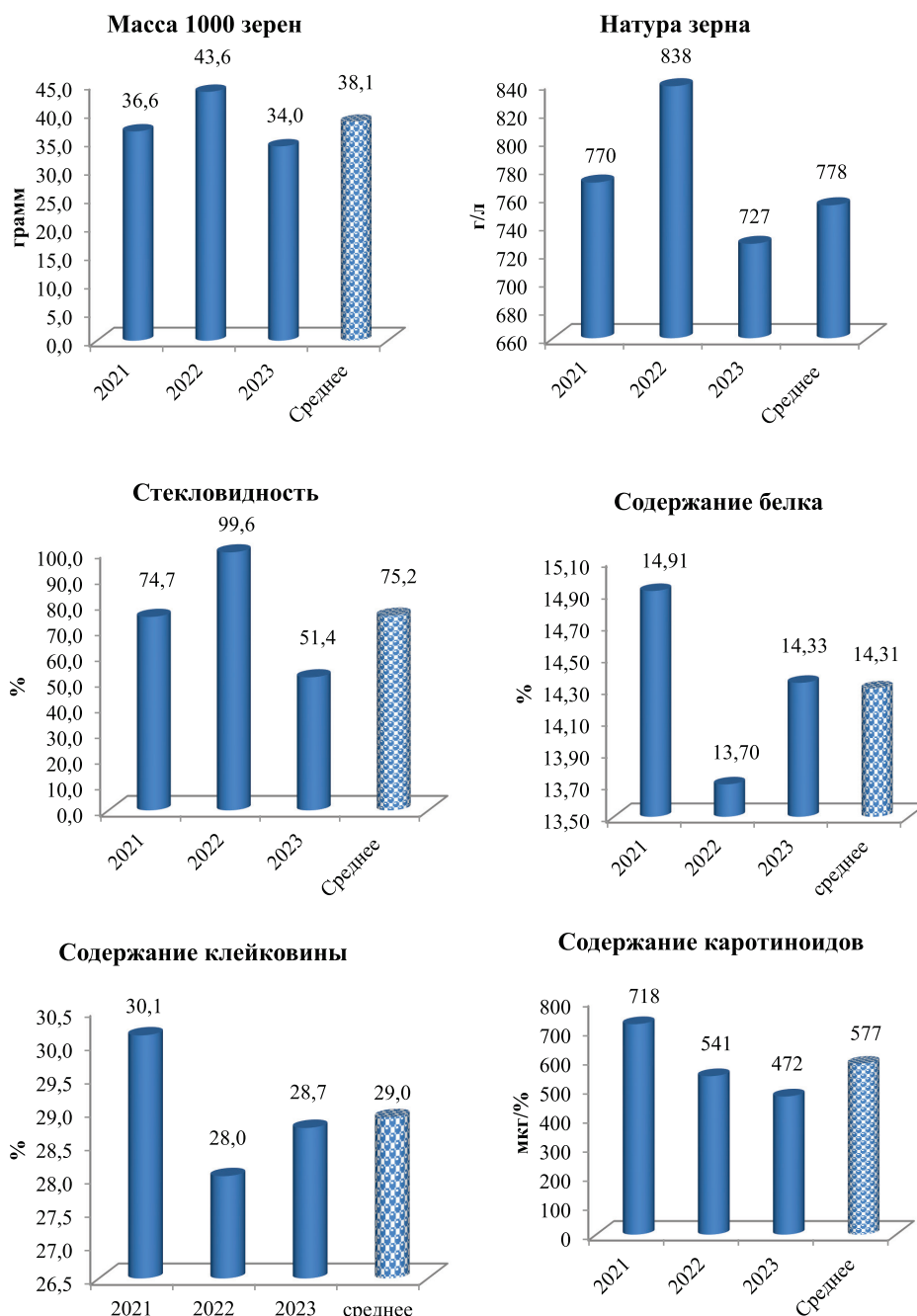
2022/2023 с.-х. год по распределению осадков по сезонам, температурному режиму (+1,9 °C к среднемноголетней) оказался нетипичным для нашей зоны и не совсем благоприятным для роста и развития озимой пшеницы. Интенсивные осадки с сильным порывистым ветром в конце мая – начале июня оказали негативное воздействие на растения озимой пшеницы, что привело к недобору урожая и низко-стекловидному зерну твердой пшеницы.

Результаты и их обсуждение. Показатели качества твердых пшениц наследственно устойчивы, но очень изменяются по годам от условий произрастания.

Масса 1000 зерен зависит от размеров и плотности зерна и является одним из признаков оценки физических свойств (Иванисов и др., 2023).

Средний показатель массы 1000 зерен варьировал по годам от 34,0 г (2023 г.)

до 43,6 г (2022 г.), сортовые колебания за изучаемый период составили от 25,4 до 45,7 г (рис.).



Изменчивость физико-химических свойств зерна озимой твердой пшеницы (2021–2023 гг.)
Variability of physicochemical properties of winter durum wheat grain (2021–2023)

У стандартного сорта Кристелла в среднем показатель данного признака составил 37,8 г. Крупное зерно (масса 1000 зерен свыше 40 г) сформировали 12 образцов озимой твердой пшеницы: 971/19 (40,2 г), Каротинка (40,4 г), Эллада (40,6 г), 1255/20 (41,0 г), 390/20 (41,3 г), 1037/17 (41,4 г), 1383/20 (41,5 г), 709/16 (41,6 г), 1253/20 (42,3 г), 506/20 (43,0 г), 536/19 (43,4 г), 1377/20 (45,7 г). Необходимо отметить линию 1377/20, которая несмотря на изменение погодных условий стабильно формирует массу

1000 зерен свыше 40,0 г (2021 г. – 42,5 г; 2022 г. – 51,3 г; 2023 г. – 43,4 г).

Крупность зерна в сочетании с натурой и отсутствие неполноценных и поврежденных зерен – признак макаронно-крупяных качеств (Kibkalo, 2022). Определение натуры зерна показало, что в среднем по годам значения изменялись от 727 г/л (2023 г.) до 838 г/л (2022 г.). Данный признак, как и масса 1000 зерен, был подвержен влиянию погодных условий в изучаемый период. Сортовые колебания натуры зер-

на в среднем по годам составляли 748–809 г/л, у стандартного сорта Кристелла – 763 г/л. Основная масса изучаемых образцов озимой твердой пшеницы (26 шт.) по данному признаку относились к I классу согласно ГОСТ: Лакомка, Динас, Хризолит, Услава, Соперница, 1147/19, 691/20, 901/20, 1377/20, 709/16 и т.д.

Стекловидность зерна характеризует его консистенцию и служит косвенным критерием оценки макаронно-крупяных свойств пшеницы (Ложкин и др., 2024). В 2021–2023 гг. уровень стекловидности колебался по образцам от 69 до 93 %. На данный признак оказали влияние погодные условия в годы исследований: в 2021 г. размах варьирования составил от 57 до 96 %, в благоприятном 2022 г. было сформировано высокостекловидное зерно (97–100%), мучнистое (50–55 %) – в 2023 году. Сорта Каротинка (80 %), Графит (82 %) и линии 901/20 (83 %), 939/20 (82 %), 1253/20 (93 %), 1255/20 (89 %), 1383/20 (89 %) имели высокие значения данного признака (78 %) и в среднем сохранили стабильную стекловидность зерна.

Содержание белка в зерне пшеницы подвержено значительным колебаниям в зависимости от различных факторов, таких как почвенные и климатические условия, длительность вегетационного периода и др. (Ivanisov et al., 2024). Но несмотря на эти колебания, озимая твердая пшеница обладает важным питательным составом и наряду с яровой играет существенную роль в пищевой промышленности, особенно в производстве макаронных изделий и круп (Васенев и др., 2019).

Содержание белка в зерне варьировало по годам от 13,70 % в 2022 г. до 14,91 % в 2021 году. Стандартный сорт Кристелла формировал высокобелковое зерно (13,89 – 15,95 %).

Необходимо отметить 15 сортов и линий озимой твердой пшеницы, которые выделились стабильно высоким содержанием белка в зерне, соответствующим первому классу качества (14,11–15,05 %): Диона, Услава, Лакомка, Динас, Хризолит, Придонье, Каротинка, Соперница, 1037/17, 555/20, 691/20, 390/20, 1093/20, 1377/20, 709/16.

Средний показатель содержания клейковины у образцов озимой твердой пшеницы был стабильно высоким по годам и колебался в пределах от 28,0 % (2022 г.) до 30,1 % (2021 г.). Несмотря на разницу погодных условий 2021–2023 гг., у стандартного сорта Кристелла получены высокие показатели содержания клейковины (29,8 %). Высокие значения отмечены у 5 образцов озимой твердой пшеницы: Динас (30,0 %), 1147/19 (30,4 %), 691/20 (30,3 %), 390/20 (30,4 %), 1377/20 (30,1 %).

Цвет зерна связан с наличием в нем естественных желтых пигментов, придающих изделиям требуемый лимонно-желтый цвет (Krupin et al., 2023). Средние по годам показатели содержания каротиноидов значительно колебались от 472 мкг/% (2023 г.) до 718 мкг/% (2021 г.). Наблюдались и значительные колебания по образцам. Содержание каротиноидов у стандартного сорта Кристелла составляло 608 мкг/%, высокие значения (от 612 до 691 мкг/%) отмечены у 7 образцов озимой твердой пшеницы: 901/20, 939/20, 1383/20, Лакомка, 971/19, 1253/20, 1255/20.

Благодаря разнообразию погодных условий в годы исследований по комплексу физико-химических свойств выделилось 6 сортов и линий озимой твердой пшеницы. Характеристики их представлены в таблице 2.

Таблица 2. Источники качественных показателей озимой твердой пшеницы (2021–2023 гг.)
Table 2. Sources of quality indicators of winter durum wheat (2021–2023)

Сорт/линия	Содержание			Стекловидность, %	Натура зерна, г/л	Масса 1000 зерен, г
	белка, %	клейковины, %	каротиноидов, мкг/%			
Кристелла, st	15,02	29,8	608	78	763	37,8
Диона	14,72	29,1	628	73	786	33,4
Динас	14,22	30,0	587	76	779	37,2
Придонье	14,37	29,9	561	77	792	40,0
691/20	14,16	30,3	534	75	787	33,4
390/20	14,66	30,4	558	70	779	41,4
1377/20	15,05	30,1	583	73	777	45,7

Данные образцы по содержанию белка (14,6–15,05 %), клейковины (29,1–30,4 %) и натуре зерна (777–792 г/л) соответствуют I классу качества на твердую пшеницу, по стекловидности (73–77 %) – III классу.

Особое внимание обращает на себя линия 1377/20, которая стабильно формировала крупное зерно с высокими физико-химическими свойствами.

Выводы. Одним из основных направлений селекционной работы по твердой пшенице яв-

ляется улучшение качества зерна. В результате изучения физико-химических свойств сортов и линий озимой твердой пшеницы было выделено 6 образцов: Диона, Динас, Придонье, 691/20, 390/20, 1377/20.

Выделенные источники представляют интерес для селекции твердой пшеницы на высокое качество зерна и макарон в условиях Ростовской области.

Библиографические ссылки

1. Васенев И. И., Бесалиев И. Н., Мальчиков П. Н., Шутарева Г. И., Джанчаров Т. М., Морев Д. В., Ярославцев А. М., Курашов М. Ю. Анализ лимитирующих агроэкологических факторов урожайности и качества твердой пшеницы в засушливых условиях // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 12. С. 30–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11206
2. Иванисов М. М., Марченко Д. М., Кравченко Н. С., Копусь М. М. Изучение показателей качества современных сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 35–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41
3. Иванисова А. С., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Кабанова Н. В., Кирина И. М. Урожайность и качество зерна озимой твердой пшеницы различных групп спелости // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 70–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-70-75
4. Ложкин А. Г., Васильев О. А., Дмитриев В. Л., Каюкова О. В., Яковлева М. И. Особенности формирования урожайности и качества пшеницы твердой яровой в условиях Чувашской Республики // Аграрная наука. 2024. № 2. С. 87–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-87-91
5. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Формирование урожая и качества зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от предшественников и условий возделывания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 3(107). С. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50
6. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Методы определения качества клейковины и оценки реологических свойств твердой пшеницы (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 11. С. 29–37. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_11_29
7. Цыганков В. И., Губашева Б. Е., Аккереева Э. К., Цыганков А. В. Биохимическая и технологическая оценка зерна сортов твердой яровой пшеницы в засушливых условиях Западного Казахстана // Наука и образование. 2022. № 2–1(67). С. 130–139.
8. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu., Kirin A. V. The quality of grain and flour of winter soft wheat in the inter-station test // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). Agricultural Cyber-Physical Systems. Zug, 2024. Vol. 733, P. 1235–1241. DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_120
9. Kibkalo, I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes // Plants. 2022. Vol. 11(13), Article number: 1640. DOI: 10.3390/plants11131640
10. Krupin P. Yu., Bepalova L. A., Kroupina A. Yu., Yanovsky A. S., Korobkova V. A., Ulyanov D. S., Karlov G. I., Divashuk M. G. Association of high-molecular-weight glutenin subunits with grain and pasta quality in spring durum wheat (*triticum turgidum* spp. Durum L.) // Agronomy. 2023. Vol. 13, № 6. P. 1510. DOI: 10.3390/agronomy13061510

References

1. Vasenev I. I., Besaliev I. N., Mal'chikov P. N., Shutareva G. I., Dzhancharov T. M., Morev D. V., Yaroslavtsev A. M., Kurashov M. Yu. Analiz limitiruyushchikh agroekologicheskikh faktorov urozhainosti i kachestva tverdoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh [Analysis of limiting agroecological factors of productivity and quality of durum wheat in arid conditions] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33, № 12. S. 30–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11206
2. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kravchenko N. S., Kopus' M. M. Izuchenie pokazatelei kachestva sovremennykh sortov ozimoi pshenitsy selektsii FGBNU «ANTs «Donskoi» [Study of quality indicators of modern winter wheat varieties developed in the FSBSI "ARC "Donskoy"] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 1. S. 35–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41
3. Ivanisova A. S., Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Kabanova N. V., Kirina I. M. Urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi tverdoi pshenitsy razlichnykh grupp spelosti [Productivity and grain quality of winter durum wheat of various maturity groups] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 1. S. 70–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-70-75
4. Lozhkin A. G., Vasil'ev O. A., Dimitriev V. L., Kayukova O. V., Yakovleva M. I. Osobennosti formirovaniya urozhainosti i kachestva pshenitsy tverdoi yarovoi v usloviyakh Chuvashskoi Respubliki [Features of the formation of productivity and quality of spring durum wheat in the conditions of the Chuvash Republic] // Agrarnaya nauka. 2024. № 2. S. 87–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-87-91
5. Malkanduev Kh. A., Shamurzaev R. I., Malkandueva A. Kh. Formirovaniye urozhaya i kachestva zerna sortov ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov i usloviiy vozdelyvaniya [Formation of productivity and grain quality of winter wheat varieties according to forecrops and cultivation conditions] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2022. № 3(107). S. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50
6. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G. Metody opredeleniya kachestva kleikoviny i otsenki reologicheskikh svoystv tverdoi pshenitsy (obzor) [Methods for determining quality of gluten and estimating the rheological properties of durum wheat (REVIEW)] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 11. S. 29–37. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_11_29
7. Tsygankov V. I., Gubasheva B. E., Akkereeveva E. K., Tsygankov A. V. Biokhimicheskaya i tekhnologicheskaya otsenka zerna sortov tverdoi yarovoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh Zapadnogo Kazakhstana [Biochemical and technological estimation of grain of spring durum wheat varieties in arid conditions of Western Kazakhstan] // Nauka i obrazovanie. 2022. № 2–1(67). S. 130–139.
8. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu., Kirin A. V. The quality of grain and flour of winter soft wheat in the inter-station test // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). Agricultural Cyber-Physical Systems. Zug, 2024. Vol. 733, P. 1235–1241. DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_120

9. Kibkalo, I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes // *Plants*. 2022. Vol. 11(13), Article number: 1640. DOI: 10.3390/plants11131640

10. Krupin P. Yu., Beshpalova L.A., Kroupina A. Yu., Yanovsky A.S., Korobkova V.A., Ulyanov D.S., Karlov G.I., Divashuk M.G. Association of high-molecular-weight glutenin subunits with grain and pasta quality in spring durum wheat (*triticum turgidum* spp. *Durum* L.) // *Agronomy*. 2023. Vol. 13, № 6. P. 1510. DOI: 10.3390/agronomy13061510

Поступила: 01.08.24; доработана после рецензирования: 12.09.24; принята к публикации: 12.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Иванисова А.С. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Марченко Д.М. – общее научное руководство, концептуализация исследований, критический анализ текста; Дубинина О.А., Майдабуро Л.И. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Кравченко Н.С. – выполнение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ПРИЗНАКОВ ПРОДУКТИВНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В СЕМЕНАХ ГОРОХА ПОСЕВНОГО В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

В. Н. Гелюх¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой селекции и защиты растений, vladgel1@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0001-6335-1583;

А. Р. Ашиев², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;

А. В. Барановский¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и окружающей среды, Inau_sorgo2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2098-0889;

А. С. Садовой¹, старший преподаватель кафедры селекции и защиты растений, sadovoialek@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова», 291018, Луганская Народная Республика, г. Луганск, г.о. Луганский, р-н Артемовский, тер. ЛНАУ, д. 1; e-mail: nauka_nis_lg@mail.ru

²ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Решение актуальнейшей проблемы по обеспечению стабильного и бесперебойного производства растительного белка в агропромышленном комплексе Донбасса практически невозможно без внедрения в производство новых сортов гороха – основной зернобобовой культуры региона. Повышение стабильности урожайности по годам и рост общего потенциала продуктивности за счет создания и внедрения в производство новых, наиболее экологически пластичных и адаптированных к конкретным условиям выращивания генотипов – основные задачи, которые стоят перед собой селекционеры. В связи с этим особую роль отводят улучшению ряда количественных признаков, прямо или косвенно влияющих на общую продуктивность растений. Цель исследований – выявить тесноту и направление корреляционных связей признаков, детерминирующих продуктивность и содержание белка в семенах гороха посевного, их стабильность и вариабельность в зависимости от изменения погодных условий периода вегетации. Метеорологические условия 2022–2024 гг. были очень контрастными, что позволило более детально определить значимость каждого элемента продуктивности. Установлено, что тесные корреляционные отношения между массой семян с растения и числом семян на растении ($r = 0,79^{***} - 0,83^{***}$), а также числом бобов на растении ($r = 0,69^{**} - 0,80^{***}$), между количеством бобов и семян на растении ($r = 0,79^{***} - 0,85^{***}$) наблюдались в относительно благоприятные годы (2022 и 2023 гг.). Идентификация ценного селекционного материала по косвенным признакам в экстремальные годы (2024 г.), когда ГТК < 0,2, существенно затруднена. Все полученные коэффициенты корреляции в данных условиях были низки и недостоверны. Результаты корреляционной взаимосвязи содержания белка в семенах гороха с элементами структуры урожая не выявили четкой связи между этими признаками. Взаимосвязь содержания белка в семенах гороха с элементами структуры урожая не выявлена в связи с низкими и недостоверными коэффициентами корреляции, что позволяет направить селекцию гороха на повышение содержания белка в семенах без учета влияния урожайности семян.

Ключевые слова: горох, сорт, изменчивость, структура урожая, корреляции.

Для цитирования: Гелюх В. Н., Ашиев А. Р., Барановский А. В., Садовой А. С. Корреляционные связи признаков продуктивности и содержания белка в семенах гороха посевного в условиях Донбасса // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 52–57. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-52-57.



CORRELATION BETWEEN PRODUCTIVITY TRAITS AND PROTEIN PERCENTAGE IN PEA SEEDS IN THE CONDITIONS OF DONBASS

V. N. Gelyukh¹, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, head of the department of plant breeding and protection, vladgel1@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0001-6335-1583;

A. R. Ashiev², 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;

A. V. Baranovsky¹, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of agriculture and environment, Inau_sorgo2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2098-0889;

A. S. Sadovoy¹, senior lecturer of the department of plant breeding and protection, sadovoialek@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979

¹FSBEI HE "Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov", 291008, Lugansk People's Republic, Lugansk, t. of Lugansky, Artemovsky district, gor. LGAU, Buil. 1; e-mail: nauka_nis_lg@mail.ru;

²FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The solution to the most urgent problem of stable and smooth production of vegetable protein in the agro-industrial complex of Donbass is practically impossible without introducing new pea varieties into production, the main legume of the region. The main tasks set by the breeders are to improve productivity stability over the years and the overall productivity potential by developing and introducing new, more environmentally flexible and adapted to specific growing conditions genotypes into production. In this regard, there has been given a special role to improving a number of quantitative traits that directly or indirectly affect the overall productivity of plants. The purpose of the current research was to identify the closeness and direction of the correlation of traits that determine productivity and protein percentage in pea seeds, their stability and variability depending on weather changes during a vegetation period. The weather conditions of 2022–2024 were very contrasting, which allowed evaluating the significance of each productivity element in more detail. There has been found that close correlations between seed weight per plant and a number of seeds per plant ($r = 0.79^{***} \dots 0.83^{***}$), as well as a number of beans per plant ($r = 0.69^{**} \dots 0.80^{***}$), between a number of beans and seeds per plant ($r = 0.79^{***} \dots 0.85^{***}$) were studied in relatively favorable years (2022 and 2023). Identification of valuable breeding material by indirect traits in extreme years (2024), when the HTC < 0.2, was significantly complicated. All the obtained correlation coefficients under these conditions were low and unreliable. The results of the correlation of protein percentage in pea seeds with yield structure elements did not reveal a clear correlation between these traits. The correlation between protein percentage in pea seeds and yield structure elements has not been identified due to low and unreliable correlation coefficients, which allows directing pea breeding towards increasing protein percentage in seeds without taking into account the effect of seed productivity.

Keywords: *peas, variety, variability, yield structure, correlation.*

Введение. Увеличение производства зерна высокого качества является одной из приоритетных задач растениеводческой отрасли, выполнение которой в значительной мере зависит от эффективности селекционной работы (Вишнякова и др., 2017). В этой связи приобретает актуальность селекционно-генетическое улучшение урожайных и технологических качеств, а также биохимического состава, такой важной зернобобовой культуры, как горох (Зотиков и др., 2018). Большинство современных сортов гороха обладают довольно высоким генетическим потенциалом продуктивности, реализация которого сдерживается их повышенной чувствительностью к резким колебаниям погодных условий (Лысенко, 2020). Селекция на урожайность является одним из самых сложных и трудоемких направлений в создании сортов сельскохозяйственных культур (Соболев и Щетинин, 2008; Костерин, 2015). Для построения селекционной стратегии и повышения эффективности отборов в экстремальных нетипичных условиях необходимы знания о генотипическом значении отдельно взятого количественного признака, его формировании, характере наследования, сопряженности с другими признаками и их совместном влиянии на продуктивность растений (Kalarchieva и др., 2022; Катюк, 2020; Шурхаева и Фадеева, 2015). При создании высокоурожайных сортов гороха требуется умелое использование информации и статистических методов, позволяющих с определенной надежностью проводить идентификацию генотипа по фенотипам (Кочерина, 2007). Наиболее доступным и информативным является метод корреляционного анализа. Мы попытались рассмотреть корреляционные отношения продуктивности с ее слагающими признаками и содержанием белка в семенах. Отсутствие учета таких связей может значительно снизить надежность или сделать негативным эффект селекции (Ашиев и др., 2019). Знание корреляционных отношений между признаками продуктивности растений дает возможность установить некоторые общие закономерности в формировании урожая, выявить представляющий интерес

исходный материал в сложных нетипичных климатических условиях. Цель исследований – выявить тесноту и направление корреляционных связей признаков, детерминирующих продуктивность и содержание белка в семенах гороха посевного, их стабильность и вариативность в зависимости от изменения погодных условий периода вегетации.

Материалы и методы исследований.

Экспериментальную работу по изучению корреляционных связей признаков продуктивности и процентного содержания белка в семенах линий гороха посевного выполняли в конкурсном сортоиспытании в севообороте опытного поля в 2022–2024 гг. в лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур ФГБОУ ВО Луганского ГАУ по Методике государственного испытания сельскохозяйственных культур (1985). Статистическую обработку данных исследований проводили по общепринятой методике полевого опыта (Доспехов, 2014). Изучали 9 линий гороха с усатым типом листа и признаком неосыпаемости семян. Предшественник – озимая пшеница. Почва – чернозем обыкновенный, среднесуглинистый. Агротехника – общепринятая для культуры в степной зоне. Способ сева – сплошной рядовой. Норма высева – 1,2 млн всхожих семян/га. Сев проводили сеялкой СКС-6-10, учетная площадь делянки 25 м², повторность четырехкратная. В уборке урожая использовали селекционный комбайн Sampo-130.

Погодные условия в годы проведения исследований резко отличались нетипичностью в сравнении со средними многолетними показателями.

В 2022 г. сумма осенне-зимних и ранневесенних осадков составила 290,1 мм, но к моменту сева в первой декаде апреля в метровом слое почвы были накоплены только удовлетворительные запасы продуктивной влаги – 126,0–127,2 мм. Метеорологические условия сложились малоблагоприятно для вегетации гороха. ГТК за апрель – июль составил только 0,92, сумма осадков – 167,8 мм, что на 51,2 мм меньше многолетней нормы. В связи с холодной погодой в мае получена значительная за-

держка в развитии растений. В целом условия увлажнения за период вегетации культуры соответствовали засушливой природной зоне типичной степи (ГТК = 1,0–0,7), и зафиксировано 43 дня с относительной влажностью воздуха менее 30 %, а сумма активных температур ($t \geq 10^\circ\text{C}$) превысила многолетнюю норму на 158,5 °C. Фаза полной спелости культуры наступила во второй декаде июля.

В 2023 г. в период вегетации гороха сложились относительно благоприятные по влагообеспеченности условия (ГТК = 1,27) при сумме выпавших осадков на 31,4 мм больше нормы. Весной перед севом культуры в метровом слое почвы содержались запасы продуктивной влаги на уровне 147,1 мм. За период с апреля по июль была накоплена сумма активных температур (2043,7 °C), то есть практически на уровне многолетней климатической нормы. Однако высокие дневные и ночные температуры воздуха (33–36 °C) в фазе налива зерна отрицательно сказались на формировании урожая. Селекционный материал высевался в оптимальные сроки, однако всходы появлялись неравномерно из-за пересыхания верхнего слоя почвы.

В 2024 г. развитие гороха, как и других сельскохозяйственных культур, проходило в крайне неблагоприятных засушливых условиях. Условия увлажнения в период с апреля по июнь были сравнимы с природными зонами полупустыни (ГТК = 0,2–0,4) и пустыни (ГТК < 0,2). Апрель был сухим, температура воздуха на 7,4 °C выше среднегодовой нормы, а осадков выпало на 41,7 % меньше. В мае, помимо жесткой засухи (выпало 2,3 мм), наблюдались заморозки до -3,2 °C, что повлекло за собой потери ранних зерновых культур в Луганской Народной Республике на площади свыше 50 тыс. га. Июнь также оказался засу-

ливым с осадками 32 мм, что ниже месячной нормы (60 мм), и с повышенной температурой воздуха – до 35,4 °C, ГТК до 0,27 при норме 1,06, что в целом привело к резкому снижению массы 1000 семян и урожайности. В этих условиях созревание гороха и уборка урожая начались в конце месяца, что на 12–15 дней раньше, чем обычно.

Результаты и их обсуждение. Уровень проявления признаков структуры урожая зависит не только от их генетического контроля, но и от реализации его на фоне климатических факторов. Многочисленные исследования, проведенные на горохе по изучению корреляционных отношений между слагающими продуктивность признаками, свидетельствуют об определенных различиях взаимосвязи отдельных ее компонентов. Есть некоторые расхождения мнений исследователей по поводу того, какие элементы структуры урожая относятся к менее или более изменчивым под влиянием окружающей среды. В своих исследованиях на протяжении трех лет (2022–2024 гг.) у различных селекционных номеров гороха с усатым типом листа определяли число семян на растении и их массу, число бобов и семян в бобе, массу 1000 семян, процентное содержание белка в семенах, а также их корреляционную взаимосвязь. Установлено, что у изучаемых форм множественный коэффициент корреляции между продуктивностью и основными составляющими ее компонентами был очень высокий ($r = 0,78^{***}–0,99^{***}$). Это указывает на решающее значение изучаемых элементов продуктивности в формировании урожая. Как показывают результаты наших исследований, наибольшее влияние на формирование результирующего признака структуры урожая «семенная продуктивность» оказывает показатель «количество семян на растении» (табл. 1).

Таблица 1. Корреляционная связь семенной продуктивности с основными элементами структуры урожая у селекционных номеров гороха (2022–2024 гг.)
Table 1. Correlation between seed productivity and main yield structure elements of the pea breeding numbers (2022–2024)

Элементы продуктивности	Коэффициенты корреляции		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Масса 1000 семян	0,42	0,53*	0,12
Количество бобов на растении	0,80***	0,69***	0,18
Количество семян в бобе	0,11	0,38	-0,14
Количество семян на растении	0,83***	0,79***	0,22

Примечание. * – существенно при 0,05; ** – при 0,01; *** – при 0,001 уровне.

Его значения в относительно благоприятные годы (2022–2023 гг.) были высокими и составили $r = 0,79^{***}–0,83^{***}$. Высокая сопряженность с продуктивностью также наблюдалась с признаком «количество бобов на растении»: $r = 0,69^{***}–0,80^{***}$. Корреляционные отношения с массой 1000 семян были на уровне $r = 0,42–0,53^*$, что указывает на ее средний уровень.

Взаимосвязь продуктивности и показателя «количество семян в бобе», $r = 0,11–0,38$, была

наименее существенна. В экстремальных условиях жесткой засухи 2024 г. при структурном анализе компонентов, составляющих продуктивность, отмечено, что их уровень и взаимоотношения существенно меняются в зависимости от продолжительности и характера специфических погодных условий. И чем больше они нетипичны, тем сильнее выражена их изменчивость.

В экстремальных климатических условиях Луганской Народной Республики период завя-

зывания и формирования бобов, как правило, совпадает с воздействием на растения гороха повышенных температур (28–38 °C). Это приводит к снижению завязываемости бобов, ухудшению их выполненности, уменьшению массы зерен, а зачастую и к формированию абортивных бобов, у которых полностью отсутствуют семена. В 2024 г. выявленные коэффициенты корреляции были недостоверны и малы, а некоторые (количество семян в бобе) имели другую направленность. При построении селекционной стратегии важно также знать кор-

реляционные сопряженности между числом бобов с растения и элементами продуктивности.

При анализе характера связи была установлена большая корреляционная зависимость изучаемого признака с количеством семян на растении ($r = 0,79^{***} - 0,85^{***}$). Коэффициенты между массой 1000 семян, выполненностью бобов и изучаемым признаком были низки и недостоверны и в отдельные годы имели различное направление (табл. 2).

Таблица 2. Корреляционная связь количества бобов на растении с элементами продуктивности у селекционных номеров гороха (2022–2024 гг.)
Table 2. Correlation between a number of beans per plant and yield structure elements of the pea breeding numbers (2022–2024)

Элементы продуктивности	Коэффициенты корреляции		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Масса 1000 семян	0,29	-0,04	-0,11
Количество семян в бобе	-0,35	0,04	-0,01
Количество семян на растении	0,79***	0,85***	0,32

Примечание. * – существенно при 0,05; ** – при 0,01; *** – при 0,001 уровне.

Отмечена также положительная связь между количеством семян на растении и выполненностью боба ($r = 0,34 - 0,46^*$).

Из качественных, наиболее ценных показателей современных сортов гороха особо важным является уровень процентного содержания белка в семенах. Результаты наших

исследований, полученных при биохимической оценке селекционного материала, показали различную реакцию испытываемых линий гороха на одни и те же условия выращивания, неодинаковую способность в синтезе белка в зависимости от специфики метеорологических условий по годам (табл. 3).

Таблица 3. Содержание белка в семенах гороха, % (2022–2024 гг.)
Table 3. Protein percentage in pea seeds, % (2022–2024)

Показатели	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Минимальное значение	24,3	24,8	19,1
Максимальное значение	28,5	33,7	22,4

Полученные данные свидетельствуют о значительных внутрисортных колебаниях содержания белка в семенах изучаемых линий гороха. Максимальное накопление белка в семенах наблюдалось в сравнительно благоприятных условиях 2023 года.

Оценка влияния элементов слагающих семенную продуктивность на содержание белка в семенах гороха, показала слабую корреляцию между этими признаками (табл. 4).

Таблица 4. Корреляционная связь процентного содержания белка в семенах гороха с элементами структуры урожая (2022–2024 гг.)
Table 4. Correlation between protein percentage in pea seeds and yield structure elements (2022–2024)

Элементы структуры урожая	Коэффициенты корреляции		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Количество бобов на растении	-0,17	-0,24	-0,09
Количество семян на растении	-0,11	-0,12	-0,19
Количество семян в бобе	-0,16	-0,15	-0,13
Масса 1000 семян	0,14	0,02	0,01
Масса семян с растения	-0,24	-0,13	-0,18

Однако следует отметить, что коэффициент корреляции между содержанием белка в семенах и такими признаками, как количество бобов и семян на растении, выполненность бобов, продуктивность растений, в годы изучения был недостоверный и имел отрицатель-

ное значение. Величина коэффициента корреляции варьировала в пределах -0,09...-0,24. Исключение составила сопряженность показателей количества белка и массы 1000 семян, которая имела очень малую и положительную величину (0,01...0,14). Такая ситуация должна

учитываться в разработке и практическом осуществлении программ при селекции на повышенное содержание белка в семенах гороха.

Выводы. В результате трехлетних наблюдений (2022–2024 гг.) было установлено, что в условиях Донбасса решающее значение в формировании продуктивности полностью контролируется уровнем реализации потенциала ее составляющих. Анализ межлинейных корреляционных сопряженностей позволил установить тесные корреляционные отношения только в относительно благоприятные годы (2022 и 2023 гг.), когда наблюдалась высокая корреляция между массой семян и числом се-

мян на растении ($r = 0,79^{***} - 0,83^{***}$), а также числом бобов на растении ($r = 0,69^{***} - 0,80^{***}$), между количеством бобов и семян на растении ($r = 0,79^{***} - 0,85^{***}$). А большинство полученных коэффициентов корреляции в 2024 г. были низки и несущественны. Результаты корреляционного анализа содержания белка в семенах гороха с элементами структуры урожая не выявил четкой связи между этими признаками. Полученные коэффициенты были малы и не достоверны. Следует также отметить, что оценка селекционного материала по косвенным признакам в экстремально засушливые годы, когда $ГТК < 0,2$, существенно затруднена.

Библиографические ссылки

1. Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В. Элементы структуры урожая у листовых и усатых образцов гороха: изменчивость, взаимосвязи и перспективы их использования в селекционном процессе // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3(63). С. 40–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-40-43
2. Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Самсонова М.Г. Требования к исходному материалу для селекции сои в контексте современных биотехнологий // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. С. 905–916. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.905ru
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунцова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2(26). С. 4–9.
5. Катюк А.И. Формирование семенной продуктивности у коллекции гороха разных морфотипов в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 32–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-32-38
6. Костерин, О.Э. Перспективы использования диких сородичей в селекции гороха (*Pisum sativum* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19, № 2. С. 4–14. DOI: 10.18699/VJ15.019
7. Кочерина, Н.В. Теория ошибок идентификации генотипов отдельных растений по их фенотипам по количественным признакам в расщепляющихся популяциях на ранних этапах селекции // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 1. С. 96–102.
8. Лысенко, А.А. Урожайность сортов зернового гороха при изменении погодных условий в Приазовской зоне Ростовской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2(34). С. 13–20. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11164
9. Методика государственного испытания сельскохозяйственных культур / М.А. Федин и др. М.: «Колос», 1985. 280 с.
10. Соболев Д.В., Щетинин В.Ю. Изменчивость признаков гороха в экологогеографическом изучении // Аграрная наука. 2008. № 3. С. 12–13.
11. Шурхаева К.Д., Фадеева А.Н. Изменчивость элементов продуктивности коллекционных образцов гороха // Зернобобовые и крупяные культуры. 2015. № 3(15). С. 71–76.
12. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V. Взаимодействие генотип-среда и стабильность количественных признаков у садового гороха (*Pisum sativum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 5. С. 965–980. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.965rus

References

1. Ashiev A.R., Khabibullin K.N., Skulova M.V. Elementy struktury urozhaya u listochkovykh i usatykh obraztsov gorokha: izmenchivost', vzaimosvyazi i perspektivy ikh ispol'zovaniya v selektsionnom protsesse [Yield structure elements in leafy and leafless pea samples: variability, correlations and prospects for their use in breeding] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 3(63). S. 40–43. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-40-43
2. Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Samsonova M.G. Trebovaniya k iskhodnomu materialu dlya selektsii soi v kontekste sovremennykh biotekhnologii [Requirements for the initial material for soybean breeding in the context of modern biotechnology] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2017. T. 52. S. 905–916. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.905ru
3. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-e, pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
4. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V. Razvitie proizvodstva zernobobovykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii [Development of grain legume production in the Russian Federation] // Zernobobovyie i krupyanye kul'tury. 2018. № 2(26). S. 4–9.
5. Katyuk A.I. Formirovaniye semennoi produktivnosti u kollektzii gorokha raznykh morfotipov v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Formation of seed productivity in the collection of peas of different morphotypes in the Middle Volga region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 5(71). S. 32–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-32-38

6. Kosterin O.E. Perspektivy ispol'zovaniya dikikh sorodichei v seleksii gorokha (*Pisum sativum* L.) [Prospects for using wild relatives in pea breeding (*Pisum sativum* L.)] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2015. T. 19, № 2. S. 4–14. DOI: 10.18699/VJ15.019
7. Kocherina, N.V. Teoriya oshibok identifikatsii genotipov otdel'nykh rastenii po ikh fenotipam po kolichestvennym priznakam v rasshcheplyayushchikhsya populyatsiyakh na rannikh etapakh seleksii [Theory of errors in identifying genotypes of individual plants according to their phenotypes for quantitative traits in splitting populations at the early stages of breeding] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2007. № 1. S. 96–102.
8. Lysenko, A.A. Urozhainost' sortov zernovogo gorokha pri izmenenii pogodnykh uslovii v Priazovskoi zone Rostovskoi oblasti [Productivity of grain pea varieties under changing weather conditions in the pre-Azov area of the Rostov region] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 2(34). S. 13–20. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11164
9. Metodika gosudarstvennogo ispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of state variety testing of agricultural crops] / M.A. Fedin i dr. M.: «Kolos», 1985. 280 s.
10. Sobolev D.V., Shchetinin V. Yu. Izmenchivost' priznakov gorokha v ekologogeograficheskom izuchenii [Variability of pea traits in ecogeographical study] // Agrarnaya nauka. 2008. № 3. S. 12–13.
11. Shurkhaeva K.D., Fadeeva A.N. Izmenchivost' elementov produktivnosti kollektсионnykh obraztsov gorokha [Variability of yield elements of pea collection samples] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2015. № 3(15). S. 71–76.
12. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V. Vzaimodeistvie genotip-sreda i stabil'nost' kolichestvennykh priznakov u sadovogo gorokha (*Pisum sativum* L.) [Correlation between genotype and environment and stability of quantitative traits in garden pea (*Pisum sativum* L.)] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 5. S. 965–980. DOI: 10.15389/agrobiologiya.2022.5.965rus

Поступила: 09.08.24; доработана после рецензирования: 23.09.24; принята к публикации: 24.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гелюх В.Н., Ашиев А.Р., Барановский А.В. – концептуализация исследований, подготовка рукописи; Гелюх В.Н., Садовой А.С. – закладка и выполнение полевых опытов, анализ данных, подготовка данных; Гелюх В.Н., Ашиев А.Р. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ К ЖАРЕ И ЗАСУХЕ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

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

И. А. Лобунская, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

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

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

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

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

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

Засуха и тепловой стресс существенно влияют на рост и продуктивность растений. В естественной среде возникновение этих абиотических стрессов часто происходит одновременно, что усиливает их негативные эффекты. Таким образом, понимание влияния жары и засухи на развитие и продуктивность растений особенно ценно. Культура озимого ячменя по сравнению с другими озимыми колосовыми отличается сравнительно высокой устойчивостью к недостатку влаги в почве и действию относительно высоких температур воздуха. В статье освещены исследования физиологических показателей по устойчивости образцов озимого ячменя к недостатку влаги и действию высоких температур. Результаты лабораторных исследований представлены за 2022–2023 годы. Определение засухоустойчивости и жаростойкости проводили в начальный период развития растений на 100 образцах озимого ячменя местной селекции и коллекции ВИР. Цель наших исследований: определить устойчивость образцов озимого ячменя к высоким температурам и недостатку влаги с помощью комплекса лабораторных методов. Изучалось воздействие раствора сахарозы разной концентрации (8, 12 и 14 атм.) и температуры окружающей среды (52 и 54 °C) по способности прорастания семян в стрессовых условиях. В ходе проведенных опытов установлена лучшая дифференциация значений устойчивости при осмотическом стрессе в 8 атм. и температуре 54 °C. Выделены образцы, сочетающие высокую устойчивость к осмотическому и тепловому стрессу: Степ (211,9 отн. ед.) и HVW 36/72 (157,9 отн. ед.), которые достоверно превысили стандарт Тимофей на 25,3–79,3 отн. ед.

Ключевые слова: озимый ячмень, сорт, относительная засухоустойчивость, осмотический раствор, атмосфера, жаростойкость.

Для цитирования: Газе В. Л., Лобунская И. А., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Костылев П. И., Донцова А. А. Физиологическая оценка устойчивости к жаре и засухе на начальных этапах онтогенеза озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 5. С. 58–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-58-63.



PHYSIOLOGICAL ESTIMATION OF HEAT AND DROUGHT RESISTANCE AT THE INITIAL STAGES OF WINTER BARLEY ONTOGENESIS

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

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

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

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

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

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

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

Drought and heat stress have significant effects on plant growth and productivity. In the natural environment, these abiotic stresses often occur simultaneously, which amplifies their negative effects. Therefore, understanding heat and drought influence on plant growth and productivity is particularly valuable. Winter barley, compared to other winter grain crops, is characterized by a relatively high resistance to moisture deficiency in soil and the effect of relatively high air temperatures. The current paper has highlighted the study of physiological indicators of winter barley resistance to moisture deficiency and high temperature effect. There have been presented the results of laboratory study for the period of 2022–2023. Identification of drought and heat resistance was carried out in the initial period of plant development on 100 winter barley samples of local selection and the VIR collection. The purpose of the study was to identify winter barley resistance to high temperatures and moisture deficiency using a set of laboratory methods. There

has been studied the effect of sucrose solution of different concentrations (8, 12 and 14 atm.) and ambient temperature (52 and 54 °C) on the ability of seed germination under stress conditions. During the trials, there has been identified the best differentiation of resistance values under osmotic stress (8 atm.) and temperature (-54 °C). There have been identified the samples 'Step' (211.9 rel. units) and 'HVW 36/72' (157.9 rel. units) combining high resistance to osmotic and thermal stress, which reliably exceeded the values of the standard variety 'Timofey' by 25.3–79.3 rel. units.

Keywords: winter barley, variety, relative drought resistance, osmotic solution, atmosphere, heat resistance.

Введение. Основные зоны возделывания озимого ячменя в Ростовской области – это Приазовская и Южная, характеризующиеся очень часто сухой осенью, особенно в первой ее половине, что затрудняет получение своевременных всходов. Современные сорта озимого ячменя обладают высокой засухо- и жароустойчивостью в периоды налива и созревания зерна, но при этом сильно страдают от недостатка влаги в начальной стадии развития растений. На сегодняшний день внедрение в производство засухоустойчивых сортов является одним из главных средств борьбы с засухой (Донцова и др., 2016; Газе и др., 2022).

Стрессоустойчивость растений – это способность растительных организмов в неблагоприятных условиях внешней среды осуществлять свои основные жизненные функции, а мера устойчивости отражает количественную сторону этой способности (Юсова и др., 2020; Marthandan et al., 2020; Mahalingam et al., 2022). Создание засухоустойчивых и высокопродуктивных сортов зерновых культур – основное направление селекции, которое невозможно без изучения физиологических особенностей исходного материала (адаптивности родительских форм и их гибридного потомства) (Газе и др., 2018).

Разработка методов комплексной оценки устойчивости селекционного материала к неблагоприятным условиям среды с учетом местных климатических условий является необходимым условием при создании новых сортов. Анализ всех показателей устойчивости и выявление наиболее ценных из них позволяют сделать подбор родительских пар, сочетающих адаптивные признаки, и на основе этого создавать высокопродуктивные сорта (Sallam et al., 2019). К таким критериям относится способность семян прорасти при недостатке влаги в почве и относительно высокой температуре воздуха.

Устойчивость растений или отдельного сорта к стрессам – это генетически контролируемый, наследуемый признак, который, являясь потенциальным, проявляется только при воздействии на растения экстремального фактора, а в оптимальных условиях он скрыт. Необходимым условием диагностики является создание условий для воздействия стресса на изучаемые растения, устойчивость к которому определяется (Кокина и др., 2018; Морозов и др., 2021; Газе и др., 2022).

Цель наших исследований – определить устойчивость образцов озимого ячменя к высоким температурам и недостатку влаги с помощью комплекса лабораторных методов.

Материалы и методы исследований.

Предметом исследования послужили 100 образцов озимого ячменя урожая 2022–2023 гг. отечественной и зарубежной селекции. Определение устойчивости образцов к абиотическим стрессорам проводили по способности семян прорасти в условиях дефицита влаги и после теплового стресса. Изучение относительной засухоустойчивости и жаростойкости проводили поэтапно: 1) установление концентрации осмотического раствора и температуры воздействия, при которой наблюдается наилучшая дифференциация по степени прорастания семян; 2) определение в начальный период развития растений озимого ячменя относительной засухоустойчивости и жаростойкости; 3) выделение устойчивых форм.

Оценку относительной засухоустойчивости и жаростойкости выполняли в изложении Н.Н. Кожушко и Г.В. Удовенко по методике ВИР (1988). Критерием определения устойчивости (засухоустойчивость, жаростойкость) служит показатель всхожести семян после воздействия стресса в сравнении с оптимальными условиями, к числу проросших относятся семена с размером главного корешка не менее длины семени, а ростка – не менее половины длины семени.

Устойчивость (У) определяли по формуле, где она выражается в %:

$$У = О/К \times 100 \%, \quad (1)$$

где О – число проросших семян после воздействия осмотического или теплового стресса (опыт); К – число проросших семян в оптимальных условиях (контроль).

Индекс комплексной устойчивости (отн. ед.) рассчитывали по формуле:

$$ИКУ = 2 \times а + б, \quad (2)$$

где а – засухоустойчивость, %; б – жаростойкость, % (методика ВИР в изложении Ю.Ф. Осипова, 1980). Математическую обработку данных проводили по методу Б.А. Доспехова (2014) с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе изучали способность прорастания семян на 20 образцах озимого ячменя при воздействии осмотического раствора различных концентраций и температуры окружающей среды для установления наилучшей дифференциации по степени прорастания семян. Всхожесть семян при разных условиях водного дефицита (8, 12 и 14 атм.) имела величины от 3,8 до 76,8 % (рис. 1).

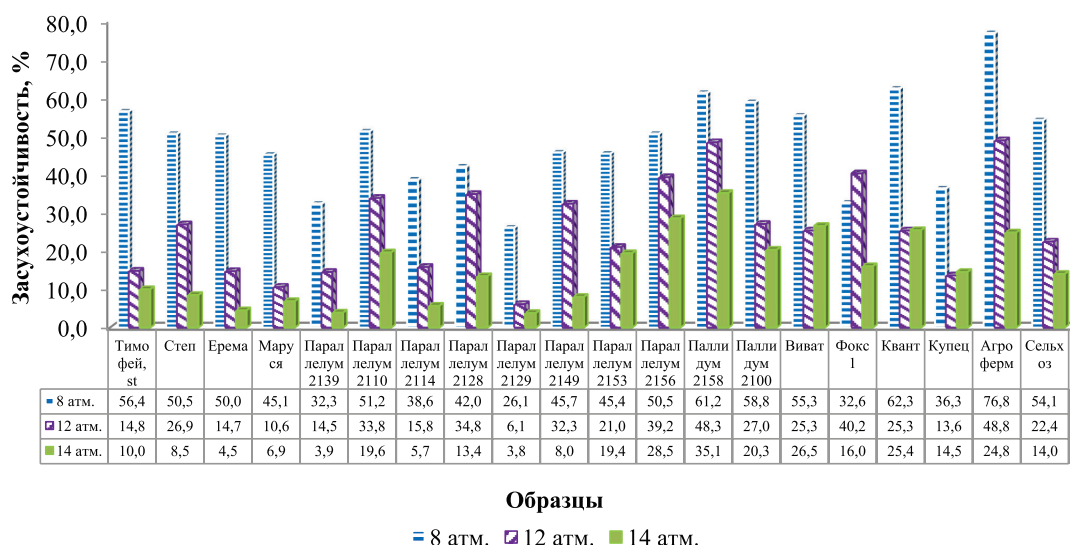


Рис. 1. Засухоустойчивость семян озимого ячменя в зависимости от воздействия осмотического стресса (2022 г.)
Fig. 1. Drought resistance of winter barley seeds depending on the effect of osmotic stress (2022)

Величина засухоустойчивости при концентрации раствора 8 атм. варьировала от 26,1 % (Параллелум 2129) до 76,8 % (Агроферм). Усиление стрессовой нагрузки до 12 и 14 атм. вызвало у образцов значительное снижение всхожести и ростовых значений проростка, значения засухоустойчивости были в пределах – 3,8–48,8 %. Большинство образцов при стрессовой нагрузке 12 и 14 атм. составили группу слабо засухоустойчивых, тогда как при концентрации 8 атм. наблюдается лучшая дифференциация значений.

Устойчивость к действию высоких температур образцов озимого ячменя оценивали на том же сортовом материале. Термотестирование проводили при температуре 52 и 54 °С. Отмечена тенденция, что при усилении теплового стресса всхожесть семян снижается. Так, при температуре воздействия 52 °С значения жаростойкости варьировали от 40,0 % (Параллелум 2129) до 94,2 % (Агроферм), а при 54 °С снизились и варьировали от 4,7 % (Параллелум 2128) до 73,9 % (Параллелум 2156) (рис. 2).

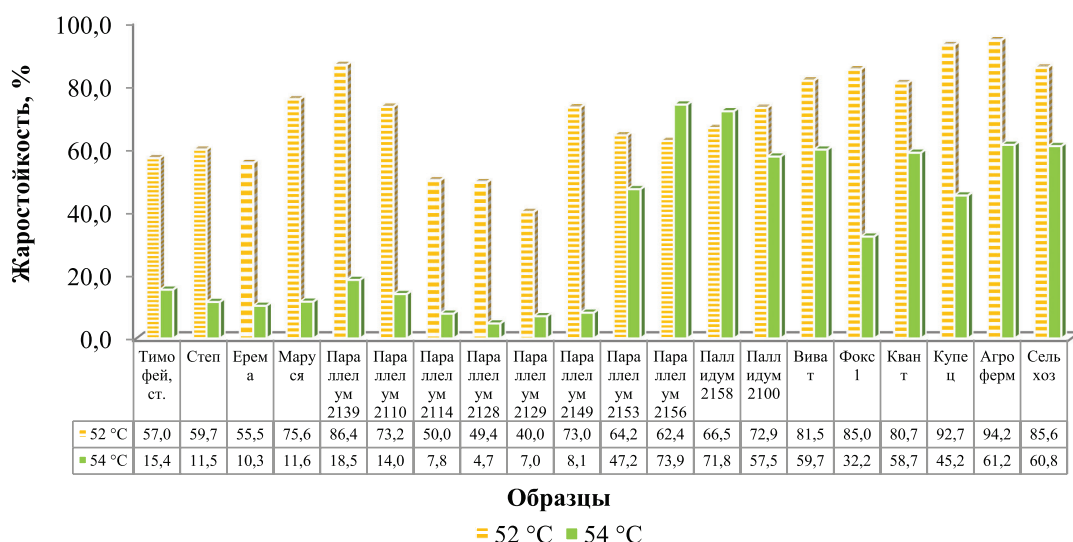


Рис. 2. Жаростойкость образцов озимого ячменя в зависимости от воздействия теплового стресса (2022 г.)
Fig. 2. Heat resistance of winter barley samples depending on the effect of heat stress (2022)

По данным статистического анализа изменчивости признака при осмотическом растворе 8 атм. зафиксированы самые высокие значения

размаха вариации ($R = 50,7\%$) и стандартного отклонения ($\sigma = 12,0\%$), а значения коэффициента вариации – 24,8 % (см. таблицу).

Статистические показатели изменчивости признака «прорастание семян озимого ячменя» по засухоустойчивости и жаростойкости (2022 г.)

Table. Statistical indicators of variability of the trait “germination of winter barley seeds” for drought resistance and heat resistance (2022)

Статистические показатели		Осмотический раствор (сахароза)			Температурный стресс	
		8 атм.	12 атм.	14 атм.	52 °С	54 °С
Среднее по опыту	Среднее значение признака ($\bar{x}$)	48,6	25,8	15,4	70,3	33,9
	Размах вариации (R)	50,7	42,7	31,3	54,2	69,2
	Стандартное отклонение (σ)	12,0	12,3	9,2	15,3	25,2
	Коэффициент вариации	24,8	47,8	59,8	21,8	74,6
	Стандартная ошибка	2,69	2,75	2,06	3,42	5,64

Высокий коэффициент вариации отмечен при 14 атм. – 59,8 %, но при воздействии стресса концентрацией 8 атм. семена проросли большим числом корешков и длиной роста. Поэтому для проведения последующей косвенной оценки относительной засухоустойчивости был использован раствор сахарозы с осмотическим давлением 8 атм.

В исследованиях, когда надо установить значительные различия между образцами, то чем выше изменчивость, тем лучше. Статистический анализ показателя изменчивости признака воздействия теплового стресса зафиксировал наибольший размах вариации ($R = 69,2$ %) и стандартного отклонения ($\sigma = 25,2$ %) при температурном стрессе 54 °С по сравнению с вариантом 52 °С. Наибольшая изменчивость признака наблюдалась при температуре

54 °С (74,6 %). Проведение последующей оценки жаростойкости будет при температурном стрессе 54 °С.

На втором этапе работы был проведен анализ всех 100 образцов (2022 и 2023 гг.) по толерантности к недостатку влаги и действию высоких температур воздуха, в результате которого выделены устойчивые формы. Процент всхожести семян в опыте по сравнению с контролем использовали в качестве критерия отбора, и по этим результатам образцы были разделены на группы устойчивости. На основании исследований по засухоустойчивости в среднем за 2022–2023 гг. образцы относились к группам: среднеустойчивые – 98,0 % и слабоустойчивые – 2,0 %, а по жаростойкости: высокоустойчивые – 13,0 %, среднеустойчивые – 45,0 % и слабоустойчивые – 42,0 % (рис. 3).

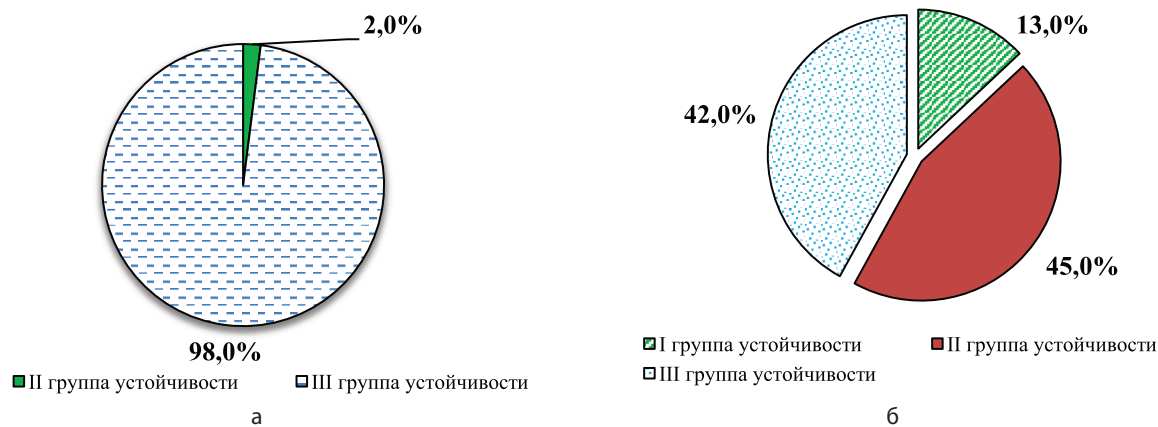


Рис. 3. Распределение образцов озимого ячменя по группам устойчивости (среднее за 2022–2023 гг.): а – засухоустойчивость, б – жаростойкость

Fig. 3. Distribution of winter barley samples according to resistance groups (mean in 2022–2023): a) drought resistance, b) heat resistance

Достоверное превышение значений засухоустойчивости озимого ячменя над стандартом Тимофей (20,7 %) отмечено у образцов HVW 36/72 (51,7 %), Абориген (33,0 %), Cotanici (30,4 %) и Росса (29,9 %) ($HCP_{05} = 8,9$ %) (рис. 4).

Достоверного превышения значений жаростойкости стандарта Тимофей (91,2 %) не выявлено, все образцы находились на уровне и ниже стандарта ($HCP_{05} = 18,2$ %). Максимальные значения жаростойкости отмечены у 13 образцов, которые относятся к группе высокоустойчивых (рис. 4).

Для полноценной оценки устойчивости образцов к недостатку влаги и относитель-

но высоких температур воздуха был использован метод определения индекса комплексной устойчивости, основанный на суммарной оценке способности семян прорастать в растворах сахарозы и после теплового стресса. По итогам комплексной оценки максимальные значения индекса устойчивости имели образцы: Степ (211,9 отн. ед.), HVW 36/72 (157,9 отн. ед.), Explorer5 (135,4 отн. ед.), Абориген (132,1 отн. ед.), Галактион (128,0 отн. ед.), Росса (125,2 отн. ед.), Ronmy (122,8 отн. ед.), Perkins (111,9 отн. ед.), HVW 1427 (110,0 отн. ед.) (рис. 5).

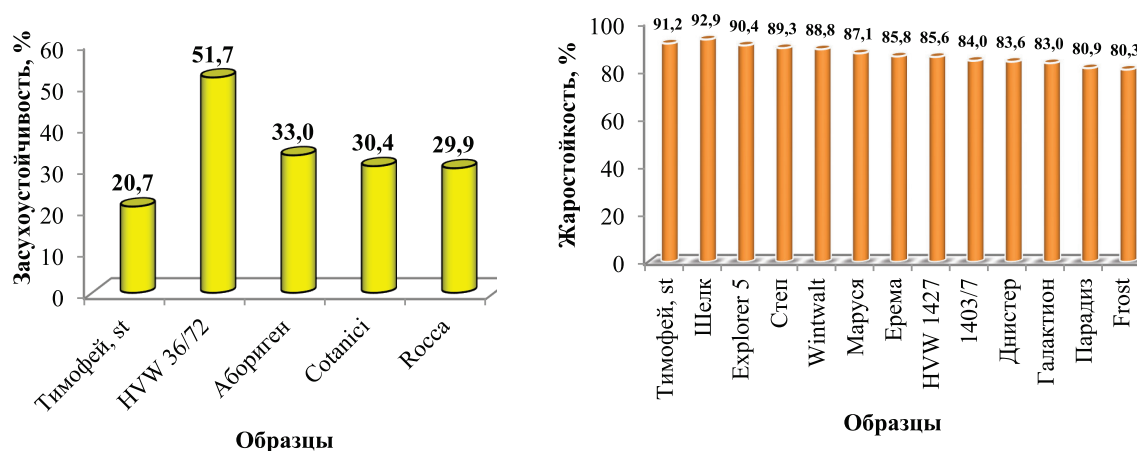


Рис. 4. Выделившиеся образцы озимого ячменя по относительной засухоустойчивости и жаростойкости (среднее за 2022–2023 гг.)

Fig. 4. Winter barley samples identified according to relative drought resistance and heat resistance (mean in 2022–2023)

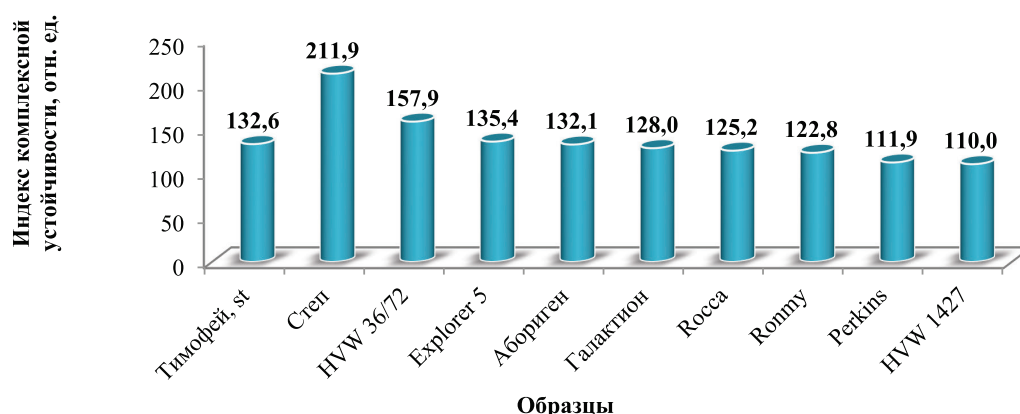


Рис. 5. Выделившиеся образцы озимого ячменя по индексу комплексной устойчивости (среднее за 2022–2023 гг.)

Fig. 5. Winter barley samples identified according to a complex resistance index (mean in 2022–2023)

Образцы Степ (211,9 отн. ед.) и HVW 36/72 (157,9 отн. ед.) достоверно превысили значения индекса устойчивости над стандартом Тимофей – (132,6 отн. ед.) на 25,3–79,3 отн. ед. ($HC_{05} = 22,8$ отн. ед.).

Выводы.

1. В процессе изучения засухоустойчивости и жаростойкости озимого ячменя установлено, что при концентрации раствора сахарозы 8 атм. и температурном стрессе 54 °C наблюда-

лись наиболее широкие диапазоны варьирования всхожести семян, что позволило распределить образцы по группам устойчивости.

2. По комплексной оценке после осмотического и теплового стресса выявлены образцы с высокими значениями устойчивости: Степ (211,9 отн. ед.) и HVW 36/72 (157,9 отн. ед.), которые достоверно превысили стандарт Тимофей на 25,3–79,3 отн. ед.

Библиографические ссылки

- Газе В.Л., Лиховидова В.А., Ионова Е.В. Определение уровня засухоустойчивости образцов озимой мягкой пшеницы прямым и косвенными методами // Зерновое хозяйство России. 2018. № 2(56). С. 25–28.
- Газе В.Л., Лобунская И.А., Костылев П.И., Филиппов Е.Г. Оценка засухоустойчивости образцов ярового ячменя в начальный период развития на растворе осмотиков // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 34–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38
- Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Терновая Е.А. Производство ячменя в мире и России // Зерновое хозяйство России. 2016. № 6. С. 7–13.
- Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- Кожушко, Н.Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Л.: ВИР, 1988. С. 10–24.
- Кокина Л.П., Щенникова И.Н., Зайцева И.Ю. Оценка коллекционных образцов ячменя на устойчивость к осмотическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 66, № 5. С. 40–44. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.40-44

7. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка исходного материала ярового ячменя на адаптивность к засушливым условиям Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-29-34
8. Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Анисков Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко-континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 4. С. 44–45.
9. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K., Renganathan V.G., Karthikeyan A., Ramalingam J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21(21), Article number: 8258. DOI: 10.3390/ijms21218258
10. Mahalingam R., Duhan N., Kaundal R., Smertenko A., Nazarov T., Bregitzer P. Heat and drought induced transcriptomic changes in barley varieties with contrasting stress response phenotypes // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 1066421. DOI: 10.3389/fpls.2022.1066421
11. Sallam A., Alqudah A.M., Mona F.A. Dawood, Baenziger P. Stephen, Börner Andreas. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International Journal of molecular science. 2019. Vol. 20, Article number: 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137

References

1. Gaze V.L., Likhovidova V.A., Ionova E.V. Opredelenie urovnya zasukhoustoichivosti obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy pryamym i kosvennymi metodami [Identification of the drought resistance level of winter common wheat samples by direct and indirect methods] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 2(56). С. 25–28.
2. Gaze V.L., Lobunskaya I.A., Kostylev P.I., Filippov E.G. Otsenka zasukhoustoichivosti obraztsov yarovogo yachmenya v nachal'nyi period razvitiya na rastvore osmotikov [Estimation of drought resistance of spring barley samples in the initial period of development on an osmotic solution] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. Т. 14, № 4. С. 34–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38
3. Dontsova A.A., Filippov E.G., Dontsov D.P., Ternovaya E.A. Proizvodstvo yachmenya v mire i Rossii [Barley production in the world and in Russia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 6. С. 7–13.
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)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Kozhushko, N.N. Otsenka zasukhoustoichivosti polevykh kul'tur [Diagnostics of plant resistance to stress effects: a methodological recommendation] // Diagnostika ustoichivosti rastenii k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoe rukovodstvo. L.: VIR, 1988. С. 10–24.
6. Kokina L.P., Shchennikova I.N., Zaitseva I. Yu. Otsenka kollektсионnykh obraztsov yachmenya na ustoichivost' k osmoticheskomu stressu [Estimation of collection barley samples for osmotic stress resistance] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. Т. 66, № 5. С. 40–44. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.40-44
7. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Otsenka iskhodnogo materiala yarovogo yachmenya na adaptivnost' k zasushlivym usloviyam Stavropol'skogo kraia [Estimation of the initial material of spring barley for adaptability to arid conditions of the Stavropol Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). С. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-29-34
8. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya. B., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Stressoustoichivost' sortov yachmenya razlichnogo agroekologicheskogo proiskhozhdeniya dlya uslovii rezko-kontinental'nogo klimata [Stress resistance of barley varieties of different agroecological origin in the conditions of a sharply continental climate] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. Т. 181, № 4. С. 44–45.
9. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K., Renganathan V.G., Karthikeyan A., Ramalingam J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21(21), Article number: 8258. DOI: 10.3390/ijms21218258
10. Mahalingam R., Duhan N., Kaundal R., Smertenko A., Nazarov T., Bregitzer P. Heat and drought induced transcriptomic changes in barley varieties with contrasting stress response phenotypes // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 1066421. DOI: 10.3389/fpls.2022.1066421
11. Sallam A., Alqudah A.M., Mona F.A. Dawood, Baenziger P. Stephen, Börner Andreas. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International Journal of molecular science. 2019. Vol. 20, Article number: 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137

Поступила: 26.09.24; доработана после рецензирования: 14.10.24; принята к публикации: 14.10.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Газе В.Л. – концептуализация исследования, проведение лабораторных опытов; Лобунская И.А. – проведение лабораторных опытов, сбор данных и подготовка рукописи; Черпакова Е.Ю., Яновская Н.В. – проведение лабораторных опытов; Костылев П.И., Донцова А.А. – анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ СОРГО ЗЕРНОВОГО ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

А. А. Калюжный, техник по научно-техническому обеспечению (I категории) лаборатории координации и научно-технической оценки, kaluznyj216@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-9139-2545;

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

В. В. Ковтунов, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье представлены результаты оценки сортов и образцов сорго зернового в коллекционном питомнике. Цель исследований – анализ коллекционного материала зернового сорго и выделение лучших сортообразцов для селекционной работы. Изучение образцов проводили в 2020–2023 гг. в лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового ФГБНУ АНЦ «Донской». Объектом исследований служили 40 образцов и сортов сорго зернового. Морфометрический анализ проводили по методикам в изложении Б. А. Доспехова (2014). В качестве стандартного сорта использовали Зерноградское 88. В процессе анализа были выявлены образцы, превышающие стандарт по массе 1000 семян, числу зерен на метелке и урожайности с делянки. По урожайности были выделены следующие образцы: Майло 168/Combeine 7078, № 93-23-13, Хегари, Китайское 3, ДН – 33ф, D.D. Yellow Sooner Milo-2501, № 50-13 которые показали урожайность более 600 г/м². По массе 1000 семян наибольшую селекционную ценность представляет образец № 61-13 с массой 1000 зерен 39,3 г. По количеству зерен на метелке выделен сорт Китайское 3 (2324 шт.). Отмеченные образцы рекомендуется использовать в качестве источников в селекционных программах по сорго зерновому.

Ключевые слова: сорго зерновое, сорт, образец, коллекция, генофонд.

Для цитирования: Калюжный А. А., Костылев П. И., Ковтунов В. В. Морфо-биологическое изучение коллекции сорго зернового ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 64–70. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-64-70.



MORPHO-BIOLOGICAL STUDY OF THE GRAIN SORGHUM COLLECTION OF THE FSBSI «ARC «DONSKOY»

A. A. Kalyuzhny, technician for scientific and technical support (category 1) of the laboratory for coordination and scientific and technical assessment, kaluznyj216@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-9139-2545;

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

V. V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The current paper has presented the estimation results of the grain sorghum varieties and samples in a collection nursery. The purpose of the study was to analyze the collection material of grain sorghum and select the best variety samples for breeding work. The study of the samples was carried out in the laboratory for grain sorghum breeding and seed production of the FSBSI “ARC “Donskoy” in 2020–2023. The objects of the study were 40 grain sorghum samples and varieties. Morphometric analysis was carried out according to the methods presented by B. A. Dospekhov (2014). The variety ‘Zernogradskoe 88’ was used as a standard one. During the analysis, there have been identified the samples that exceeded the standard variety in 1000-grain weight, number of grains per panicle, and productivity per plot. According to productivity there have been identified such samples as ‘Milo 168/Combeine 7078’, ‘No. 93-23-13’, ‘Hegari’, ‘Kitayskoe 3’, ‘DN – 33f’, ‘D.D. Yellow Sooner Milo-2501’, ‘No. 50-13’, which produced over 600 g/m². According to 1000-grain weight, the sample ‘No. 61-13’ was of the greatest breeding value with a 1000-grain weight of 39.3 g. According to number of grains per panicle the variety ‘Kitayskoe 3’ was the best with 2324 pcs. The identified samples have been recommended for use in breeding programs as grain sorghum sources.

Keywords: grain sorghum, variety, sample, collection, genepool.

Введение. Сорго занимает одно из первых мест по посевным площадям среди основных сельскохозяйственных культур. Эта ценная культура имеет широкое распространение во многих странах мира. Зерно сорго является основным продуктом питания для примерно

500 млн человек в 30 странах Африки и Азии. Несмотря на этот вклад в мировое производство продовольствия, большая часть зерна сорго в мире, и почти вся в западных странах, используется в качестве корма для животных. Основное применение сорго зерново-

го – это корм для животных и рыбы, в спиртовой и частично в пищевой промышленности. Сочетание важной способности сорго противостоять жаре и засухе и превосходные функциональные свойства зерна сорго в здоровом питании предполагают большую сосредоточенность на разработке новых продуктов питания. В Азии, Африке и Соединенных Штатах Америки из сорго производят муку, крупы, крахмал, пиво, алкогольные напитки и другие продукты (Khoddami et al., 2023).

В сухих районах, где частые засухи серьезно снижают урожайность традиционных кормовых культур, необходимо широкое внедрение сорго, более устойчивого к засухе. В районах с осадками менее 500 мм сорго обеспечивает более стабильный и высокий урожай зерна, особенно в периоды острой засухи, по сравнению с другими кормовыми культурами. Поэтому неудивительно, что в последние годы сорго показывает самый высокий прирост валового сбора зерна – более 70 % (Abreha et al., 2021).

Главной причиной, мешающей широкому использованию сорго в наше время, остается недостаток подходящих сортов и гибридов, которые были бы адаптированы к специфике различных климатических зон и способствовали развитию промышленного производства семян. В засушливых регионах юга России необходимо увеличить посевные площади засухоустойчивого высокопродуктивного сорго зернового. В зонах недостаточного увлажнения оно должно стать основной культурой, повышающей продуктивность севооборотов (Гурский, 1984).

Необходимым условием эффективного использования генетического материала являются его правильная оценка, характеристика и документирование, чтобы гарантировать, что любая группа образцов с желаемыми характеристиками может быть легко идентифицирована и использована в программах селекции. Сегодня изучение и консервация коллекций сорго, собранных из различных мест, обязательно требуют хорошего знания существующего разнообразия материала и разработки соответствующих и устойчивых стратегий сохранения (Dahlberg et al., 2021). Недостаток информации негативно сказывается на управлении, использовании и повышении генетического разнообразия коллекции в рамках программ по селекции сорго (Boyle et al., 2019).

Целью исследования являлся анализ исходного материала сорго зернового и отбор лучших

образцов для использования в селекционном процессе ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Для достижения цели были поставлены следующие задачи.

1. Провести сравнительную оценку образцов сорго зернового по количественным признакам.

2. Отобрать лучшие формы для селекции сорго зернового.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили с использованием материально-технической базы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Опыты закладывали в коллекционном питомнике. В качестве исходного материала для селекции сорго зернового послужили 39 перспективных образцов сорго зернового и один сорт сорго зернового Зерноградское 88, который используется в качестве стандарта. Оригинатор – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». Сорт сорго зернового Зерноградское 88 включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2013 году. Допущен к использованию в Северо-Кавказском регионе.

Посев проводили селекционной сеялкой «Клен 4.2», учетная площадь делянки – 5 м², ширина междурядий – 70 см. Глубина заделки семян – 5–6 см. После посева почву прикатывали кольчатыми катками. Уходные мероприятия проводили в соответствии с Рекомендациями по технологии возделывания сорго зернового, сахарного и суданской травы (2018). В процессе вегетации осуществляли наблюдения за растениями с регистрацией фаз вегетации, общего их состояния и развития. Биометрические данные учитывали в фазу полной спелости. Изучение коллекционных образцов сорго осуществлялось в соответствии с Широким унифицированным классификатором СЭВ и международным классификатором СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench* (1982).

Математическую обработку данных исследования проводили по Б. А. Доспехову (2014).

Результаты и их обсуждение. В результате исследований, проведенных на опытных участках ФГБНУ «АНЦ «Донской», были установлены значительные различия коллекционных образцов сорго зернового по морфо-биологическим признакам, таким как продолжительность вегетационного периода, высота растений, размеры метелки, число зерен с метелки и масса зерновки (таблица).

Характеристика коллекционных образцов сорго зернового (в среднем за 2020–2023 гг.)
Characteristics of grain sorghum collection samples (mean in 2020–2023)

Образцы, сорта	Период «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в метелке, шт.	Урожайность, г/м ²
Зерноградское 88, st	95	99	26,1	1656	529
Крымбел	97	133	27,9	1380	490
Крупинка 10	96	129	24,3	1532	516
Коричневое 11	101	116	17,6	1448	372
Пионер 878 /Геническое бурое 129	108	115	23,8	2157	569

Продолжение табл.

Образцы, сорта	Период «всходы – полная спелость», дни	Высота растения, см	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в метелке, шт.	Урожайность, г/м ²
D.D. Yellow Sooner Milo-2501	104	100	29,2	1958	668
Kadeiba-3732	99	109	26,9	1645	514
Пионер 412/Мировское 6	95	93	24,1	1140	333
Пионер 88/412№26	96	114	30,6	1366	544
Майло 168/Combeine 7078	98	110	21,9	2072	609
Пионер 88 41/ S51-63-09	99	106	22,7	1300	397
Троистое	97	110	23,8	1495	431
Зерновое 1-14	96	142	24,3	1345	526
№ 7-2/2	95	95	22,0	1336	340
NK222/Одноплодное 8-31	96	125	24,6	1430	497
Геническое 129-6 /ДН59-8-14	101	148	30,5	1560	581
ДН -35ф	105	128	20,3	2183	622
Мировское 12-1	105	82	25,0	1144	369
Мировское 84	107	80	32,5	1315	580
к-10989	103	101	22,8	1245	445
№ 2-13	92	135	20,6	2063	571
№ 8-13	100	140	27,5	1398	505
№ 13-13	100	134	22,5	2049	583
№ 36-13	99	122	28,2	1526	588
№ 50-13	105	121	28,8	1658	627
№ 53-13	96	147	34,4	1312	592
№61-13	102	120	39,3	1055	360
№ 93-23-13	101	104	27,0	1942	697
№ 26-14	102	103	33,9	928	334
Кафрское белое	101	135	26,8	1620	493
Spur Feterita	100	149	38,0	1378	560
Хегари	101	125	27,4	2041	635
Dwarf Freed C.J. №971	103	128	27,9	1384	509
КС-2 раннее	97	101	27,2	1711	570
КС-3 карл. Раннее	101	101	22,5	1946	579
КУ-3	92	94	24,3	1179	374
КУ-29 Майло низкое	106	102	29,9	1702	557
Д 577/19	89	127	35,4	623	338
Китайское 1	97	101	24,1	1789	410
Китайское 3	103	103	25,6	2324	644
Стандартное отклонение	4	18	4,7	376	103

Продолжительность вегетационного периода – важный лимитирующий фактор, поэтому одной из основных задач селекции сорго зернового является выведение скороспелых сортов.

В условиях Северного Кавказа особое внимание следует уделять источникам раннеспелости и холодостойкости, так как посев раннеспелых холодостойких сортов и гибридов в ранние сроки позволяет растениям сформировать урожай до наступления жаркого сухого периода лета, а следовательно, иметь более устойчивый урожай сорго (Алабушев и др., 2003).

По продолжительности вегетационного периода сорта сорго в Ростовской области распределены на три группы: раннеспелые – до 100 дней, среднеспелые – 101–120, позднее – более 120 дней. Это позволяет дать характеристику продолжительности их периода вегетации применительно к агроклиматическим условиям (Большаков и Коломиец, 2003).

Амплитуда варьирования образцов коллекции сорго зернового в среднем за 4 года по длине вегетационного периода была значительной – от 89 до 107 дней с охватом двух групп спелости (рис. 1).

Из 40 образцов коллекции сорго зернового ФГБНУ «АНЦ «Донской» 54 % являются раннеспелыми с продолжительностью вегетационного периода 89–100 дней. Наиболее раннеспелыми являются образцы 577/19 (89 дней), КУ-3 (92 дня) и № 2-13 (92 дня).

Высота растений имеет большое значение, так как, во-первых, имеет прямую связь с устойчивостью к полеганию, во-вторых, для успешной уборки растения сорго зернового должны быть низкорослыми.

Если у силосных сортов и гибридов высота растений в значительной степени обуславливает уровень урожайности зеленой массы, то у зерновых высота растений более 150 см сильно усложняет механизированную уборку зерновой части урожая. Для производствен-

ных посевов сорго зернового направления оптимальной является высота 100–120 см.

Коллекция сорго была разнообразна по высоте растений – от 80 до 152 см. Распределение

растений по этому признаку было асимметричным, с преобладанием форм с высотой 100–130 см (рис. 2).

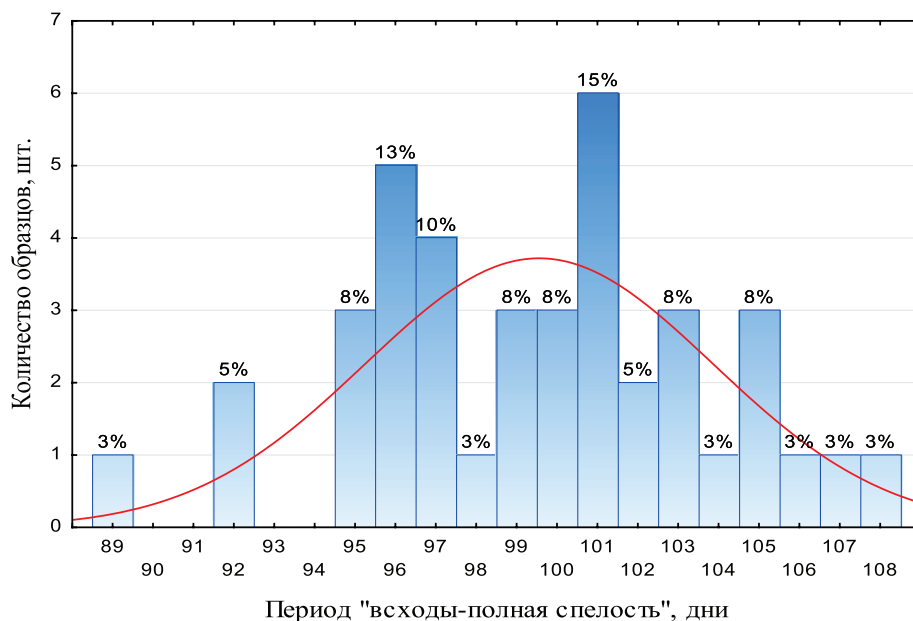


Рис. 1. Распределение образцов коллекции сорго зернового по продолжительности вегетационного периода (2020–2023 гг.)

Fig. 1. Distribution of grain sorghum collection samples according to a vegetation period length (2020–2023)

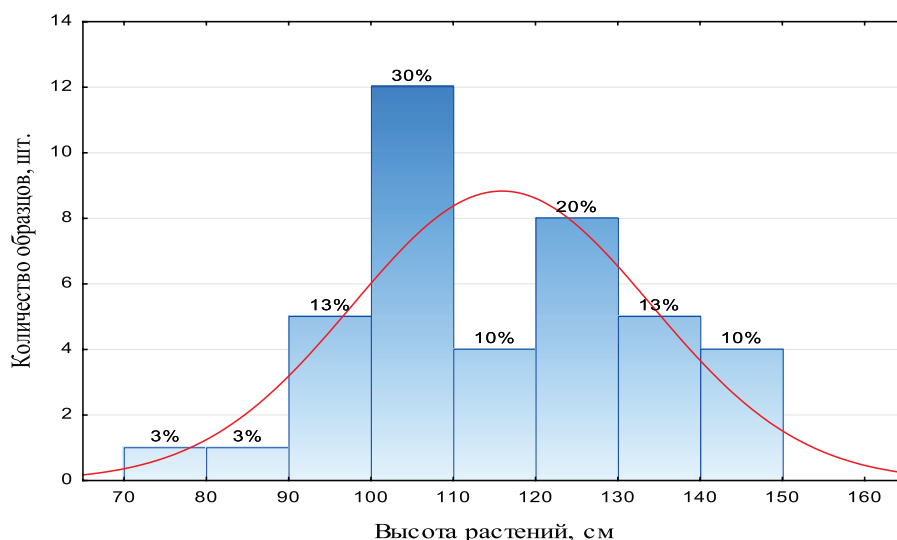


Рис. 2. Распределение коллекционных образцов по высоте растений (2020–2023 гг.)

Fig. 2. Distribution of collection samples according to plant height (2020–2023)

При появлении необходимости снижения высоты у создаваемых сортов в коллекции имеются источники низкорослости: Пионер 412 / Миловское 6 (93 см), Миловское 84 (80 см), Миловское 12-1 (82 см), КУ-3(94 см).

В Ростовской области создаются благоприятные условия для формирования урожая с высокой массой 1000 зерен (Шепель, 1994). В наших исследованиях масса 1000 зерен варьировала от 17,6 до 39,3 г (рис. 3). Преобладали формы со средней массой 1000 зерен 26–28 г.

Однако для селекционной работы требуются формы с крупным зерном. Они имеют больший запас питательных веществ в эндосперме, лучше прорастают с глубины почвы, где содержится больше влаги. Кроме того, крупа из такого зерна обладает более высокими товарными качествами. В процессе изучения коллекционного материала был выделен относительно крупнозерный образец сорго: № 61-13 с массой 1000 зерен 39,3 г.

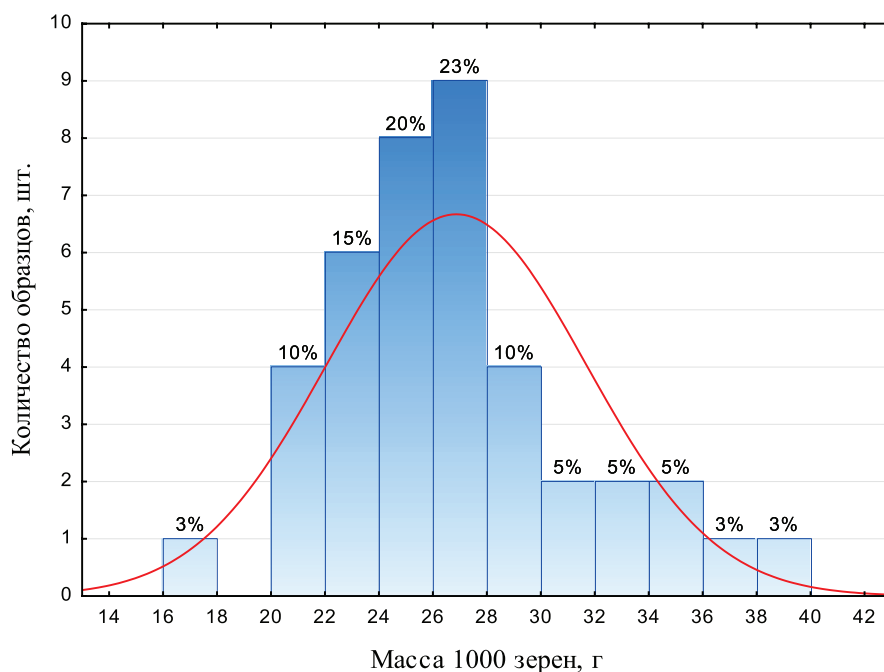


Рис. 3. Распределение образцов коллекции сорго зернового по массе 1000 зерен (2020–2023 гг.)
Fig. 3. Distribution of grain sorghum collection samples according to 1000-grain weight (2020–2023)

Количество зерен на одной метелке зависит от сорта и условий выращивания и колеблется от 1800–2200 у сортов до 3000–5600 у гибридов. При этом общая урожайность зерна обусловлена увеличенным числом зерен в метелке и повышенной массой 1000 семян (Исаков, 1982). Количество семян в значительной степени является наиболее важным компонентом урожайности сорго зернового.

Распределение изученных образцов по количеству зерен на метелке показало, что эта величина варьировала от 623 до 2324 шт. (рис. 4).

При этом у основной массы образцов растения несли на метелках от 1200 до 1800 зерен. Наибольшее число зерен на метелке имел образец Китайское 3 (2324 шт.). Его можно использовать для селекционной работы.

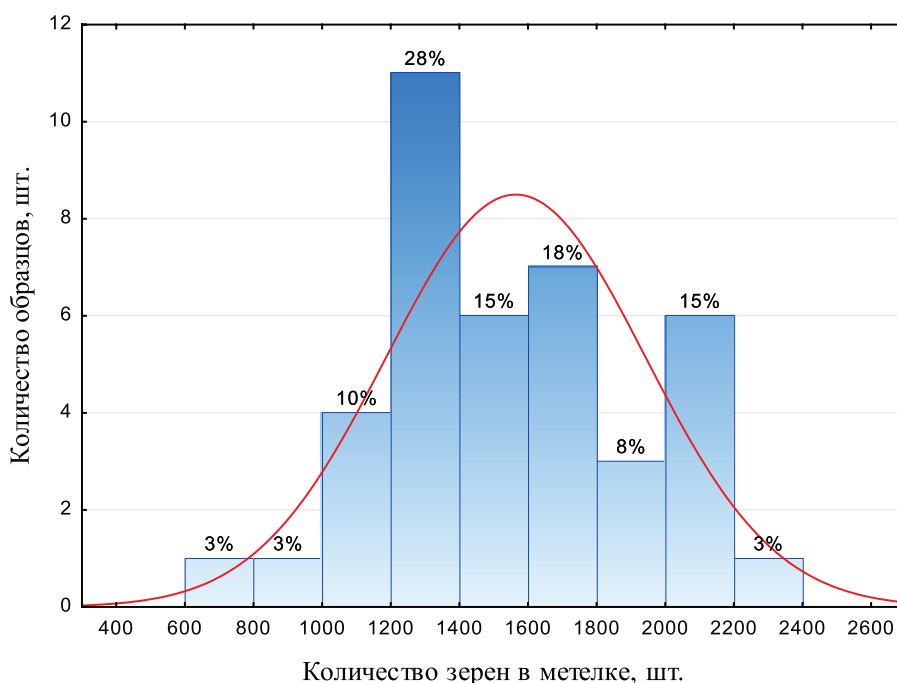


Рис. 4. Распределение образцов коллекции сорго зернового по количеству зерен на метелке (2020–2023 гг.)
Fig. 4. Distribution of grain sorghum collection samples according to number of grains per panicle (2020–2023)

Урожайность – это сложный признак, состоящий из множества количественных элементов. Она определяется массой 1000 зерен, числом и массой зерна с метелки и другими признаками. Правильная оценка роли отдельных элементов продуктивности в формировании урожая способствует достижению целей, поставленных перед селекционерами (Гурский, 1984).

Распределение образцов сорго по урожайности зерна показало, что основная масса

образцов формировала урожайность от 450 до 600 г/м², хотя имелись и низко- и высокоурожайные формы: от 300 до 700 г/м².

Наибольшую селекционную ценность представляют 18 % образцов, таких как Майло 168/Combeine 7078 (609 г/м²), № 93-23-13 (697 г/м²), Хегари (635 г/м²), Китайское 3 (644 г/м²), ДН-33ф (622 г/м²), D.D. Yellow Sooner Milo-2501 (668 г/м²), № 50-13 (627 г/м²), которые показали урожайность, превосходящую стандарт на величину стандартного отклонения (рис. 5).

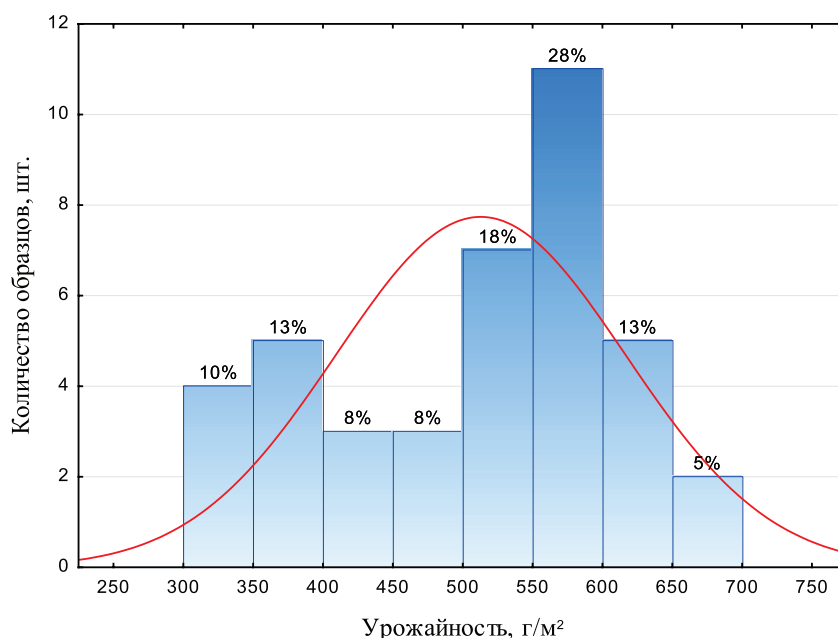


Рис. 5. Распределение образцов сорго зернового по урожайности зерна (2020–2023 гг.)
Fig. 5. Distribution of grain sorghum samples according to grain productivity (2020–2023)

Выводы.

1. В процессе биометрического анализа установлена изменчивость вегетационного периода сорго зернового от 89 до 107 дней, выделены источники раннеспелости – Д 577/19 (вегетационный период 89 дней), КУ-3 (92 дня), № 2-13 (92 дня).

2. Высота растений варьировала от 80 до 152 см, при необходимости снижения высоты у высокорослых форм в коллекции выявлены источники низкорослости: Пионер 412/Миловское 6 (93 см), Миловское 84 (80 см), Миловское 12-1 (82 см), КУ-3 (94 см).

3. Масса 1000 зерен варьировала от 17,6 до 39,3 г, преобладали формы с величинами 26–28 г. В процессе изучения коллекционного

материала был выделен крупнозерный образец сорго – № 61-13 с массой 1000 зерен 39,3 г.

4. Количество зерен на метелке изученных образцов варьировало от 600 до 2324 шт., наибольшее число зерен на метелке имел образец Китайское 3.

5. По урожайности зерна образцы распределились в пределах от 300 до 700 г/м². Для селекционной работы на продуктивность рекомендуется использовать в гибридизации выделенные образцы: Майло 168/Combeine 7078 (609 г/м²), № 93-23-13 (697 г/м²), Хегари (635 г/м²), Китайское 3 (644 г/м²), ДН-33ф (622 г/м²), D.D. Yellow Sooner Milo-2501 (668 г/м²), № 50-13 (627 г/м²).

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я. и др. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2003. 368 с.
2. Большаков А. З., Коломиец Н. Я. Сорго: от селекции к технологии. Методическое пособие. Ростов н/Д.: ООО «Ростиздат», 2003. 112 с.
3. Гурский, Н. Г. Морфо-биологические особенности и урожайность новых сортов сорго зернового в условиях предкавказских черноземов Ростовской области // В кн.: Сорго – ценная кормовая культура. Ростов н/Д., 1984. С. 31.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.

5. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S., Vetukuri R. R., Feyissa T., Motlhaodi T., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // *Planta*. 2021. Vol. 255, DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
6. Boyle R. E., Brenton Z. W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // *The Plant Journal*. 2019. Vol. 97, P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
7. Dahlberg, J.A. Classifying the genetic diversity of sorghum: A revised classification of sorghum of California, USA; and DT Rosenow, formerly Agricultural Research and Extension Center–Texas A&M University, USA // In *Achieving sustainable cultivation of sorghum*. 2018. Vol. 1, (pp. 23–86). Burleigh Dodds Science Publishing.
8. Khoddami A., Messina V., Venkata K. V., Farahnaky A., Blanchard C. L., Roberts T. H. Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63, № 9. P. 1170–1186. DOI: 10.1080/10408398.2021.1960793

References

1. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gurskii N. G., Kolomiets N. Ya. i dr. Sorgo (selektsiya, semenovodstvo, tekhnologiya, ekonomika) [Sorghum (breeding, seed production, technology, economy)]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2003. 368 s.
2. Bol'shakov A. Z., Kolomiets N. Ya. Sorgo: ot selektsii k tekhnologii [Sorghum: from breeding to technology]. Metodicheskoe posobie. Rostov n/D.: OOO «Rostizdat», 2003. 112 s.
3. Gurskii, N. G. Morfo-biologicheskie osobennosti i urozhainost' novykh sortov sorgo zernovogo v usloviyakh predkavkazskikh chernozemov Rostovskoi oblasti [Morphological and biological characteristics and productivity of new grain sorghum varieties in the pre-Caucasian blackearth of the Rostov region]. V kn.: Sorgo – tsennaya kormovaya kul'tura. Rostov n/D., 1984. S. 31.
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)]. Izd. 5-e, pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S., Vetukuri R. R., Feyissa T., Motlhaodi T., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // *Planta*. 2021. Vol. 255, DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
6. Boyle R. E., Brenton Z. W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // *The Plant Journal*. 2019. Vol. 97, P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
7. Dahlberg, J.A. Classifying the genetic diversity of sorghum: A revised classification of sorghum of California, USA; and DT Rosenow, formerly Agricultural Research and Extension Center–Texas A&M University, USA // In *Achieving sustainable cultivation of sorghum*. 2018. Vol. 1, (pp. 23–86). Burleigh Dodds Science Publishing.
8. Khoddami A., Messina V., Venkata K. V., Farahnaky A., Blanchard C. L., Roberts T. H. Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63, № 9. P. 1170–1186. DOI: 10.1080/10408398.2021.1960793

Поступила: 05.09.24; доработана после рецензирования: 24.09.24; принята к публикации: 25.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Калюжный А. А. – сбор и анализ данных, написание текста статьи; Костылев П. И. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования; Ковтунов В. В. – сбор и предоставление образцов для анализа.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ РИСА С ГЕНАМИ УСТОЙЧИВОСТИ К ПИРИКУЛЯРИОЗУ *PI-2* И *PI-B*

О. В. Шумская, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, oksana-shumskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7285-5580;

Н. Н. Вожжова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, nvozhzh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000;

О. С. Жогалева, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, os.zogaleva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1477-3285;

Ю. А. Хахулина, техник-исследователь лаборатории клеточной селекции, khakhulina.yulya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1477-3285;

П. И. Костылев, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Так как пирикулярриоз – болезнь, наносящая значительный вред рису во всем мире, то актуальной задачей является интенсивное создание генотипов, резистентных к данному заболеванию. Использование технологий молекулярной биологии, новых биотехнологических подходов и молекулярно-генетических методов позволяет создавать устойчивые к болезням сорта при сокращении сроков их создания, что играет важную роль в выращивании конкурентоспособной продукции. В данной статье освещены результаты оценки образцов риса, созданных в ФГБНУ «АНЦ «Донской» на устойчивость к пирикулярриозу. В качестве объекта исследования выступали новые образцы, созданные в лаборатории селекции и семеноводства риса. В 2022–2023 гг. был выполнен скрининг 187 образцов риса. В них определялось наличие гена устойчивости к пирикулярриозу *PI-2*. 115 образцов оценивали по гену резистентности к пирикулярриозу *PI-b*. Геномную ДНК выделяли из молодых листьев риса. После оценки количества и качества выделенной ДНК проводили полимеразную цепную реакцию на целевые гены *PI-2* и *PI-b*. Для идентификации аллелей искомых генов использовали специфические внутригенные молекулярные SSR-маркеры доминантного (для *PI-2*) и кодоминантного (для *PI-b*) типа. Электрофорез полученных ампликонов выполняли на 2 %-х агарозных гелях в течение часа. Итоги анализа фиксировали в ультрафиолетовом свете и обрабатывали в программном обеспечении ImageLab 5.1. В результате проведенных исследований выявлены новые селекционные образцы риса, которые несут гены устойчивости к пирикулярриозу *PI-2* и *PI-b*. Эти образцы рекомендуется использовать в дальнейшем селекционном процессе на устойчивость к пирикулярриозу.

Ключевые слова: рис, пирикулярриоз, маркер, ген, устойчивость, *PI-2*, *PI-b*.

Для цитирования: Шумская О. В., Вожжова Н. Н., Жогалева О. С., Хахулина Ю. А., Костылев П. И. Выявление образцов риса с генами устойчивости к пирикулярриозу *PI-2* и *PI-b* // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 71–77. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-71-77.



IDENTIFICATION OF RICE SAMPLES WITH RICE BLAST RESISTANCE GENES *PI-2* AND *PI-B*

O. V. Shumskaya, junior researcher of the laboratory for cell breeding, oksana-shumskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7285-5580;

N. N. Vozhzhova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cell breeding, nvozhzh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000;

O. S. Zhogaleva, junior researcher of the laboratory for cell breeding, os.zogaleva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1477-3285;

Yu. A. Khakhulina, technician-researcher of the laboratory for cell breeding, khakhulina.yulya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1477-3285

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

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

Since rice blast is a disease that causes significant damage to rice all over the world, the intensive development of disease-resistant genotypes is of great urgency. The use of molecular biology technologies, new biotechnological approaches and molecular genetic methods allows creating disease-resistant varieties while reducing the time of their development, which plays an important role in growing competitive products. The current paper has highlighted the results of estimating rice samples developed at the FSBSI “ARC “Donskoy” for blast resistance. The objects of the study were new samples developed in the laboratory of rice breeding and seed production. In 2022–2023, there were screened one hundred eighty-seven rice samples. They were identified on a presence of the blast resistance gene *PI-2*. One hundred fifteen samples were estimated for the blast resistance gene *PI-b*. Genomic DNA was isolated from young rice leaves. After estimating the quantity and quality of the isolated DNA there was conducted a polymerase chain reaction for the target genes *PI-2* and *PI-b*. In order to identify the alleles of the desired genes there were used specific intragenic molecular SSR markers of dominant (for *PI-2*) and codominant (for *PI-b*) types. Electrophoresis

of the obtained amplicons was performed on 2 % agarose gels during an hour. The results of the analysis were recorded in ultraviolet light and processed in ImageLab 5.1 software. As a result of the conducted study, there were identified new rice breeding samples that carry blast resistance genes *Pi-2* and *Pi-b*. These samples are recommended for use in the further breeding process for blast resistance.

Keywords: rice, rice blast, marker, gene, resistance, *Pi-2*, *Pi-b*.

Введение. Рис посевной (*Oryza sativa* L.) – ценная продовольственная культура, производство которой в мире незначительно уступает пшенице (Гученко, 2022). В Российской Федерации у сельхозпроизводителей эта культура также пользуется популярностью. Среди основных регионов рисосеяния в стране можно назвать Краснодарский и Приморский края, Республику Дагестан, Чеченскую Республику и Адыгею, Астраханскую и Ростовскую области, а также Еврейскую автономную область.

Упор в селекции риса делается прежде всего на урожайность, которая в значительной степени зависит от устойчивости к стресс-факторам и устойчивости к полеганию (Илюшко и др., 2019). Серьезным ограничивающим стресс-фактором для получения высоких урожаев риса является пирикулярриоз, который может значительно поражать посевы и наносить большой экономический вред.

Заражение пирикулярриозом вызывается несовершенным грибом *Pyricularia oryzae* Cav (*Magnaporthe oryzae*) (Мынбаева и др., 2023), который прорастает внутрь растений риса в благоприятных условиях высокой влажности воздуха (до 98 %) и продолжает свое развитие во всех тканях. Важность устойчивости к пирикулярриозу можно объяснить значительными убытками в рисоводческих хозяйствах от этой болезни (Kadeawi et al., 2021). Кроме уменьшения потери урожая, резистентность к пирикулярриозу также способствует уменьшению дозы химических обработок риса, что немаловажно и для аграриев, и для потребителя (Jiang et al., 2019).

Сельхозпроизводители – компании и агрохолдинги, занимающиеся выращиванием риса, испытывают потребность в тесном взаимодействии с научным сообществом, чтобы получать сорта с нужными хозяйственно ценными признаками: устойчивые к болезням, климатическим условиям и максимально продуктивные (Зеленский и др., 2024).

Среди современных высокоэффективных методов борьбы с пирикулярриозом выделяется маркерная селекция. Применение ДНК-маркеров направлено на создание генотипов, которые были бы устойчивы к заболеваниям сельскохозяйственных культур. Маркерные технологии позволяют выполнять отбор требуемых селекционеру генов в процессе целенаправленной селекции. Чтобы получить долгосрочную устойчивость растений, селекционерам требуется вводить не меньше 2–3-х эффективных генов устойчивости к пирикулярриозу, так как с одним геном резистентности сорта быстро ее теряют. Это происходит по причине того, что устойчивость растений зачастую преодолевается возбудителем болез-

ни из-за появления новых рас (Коротенко и др., 2018).

На сегодняшний день идентифицировано более 100 генов устойчивости риса к пирикулярриозу, из которых 39 клонированы (Wang et al., 2023).

Гены *Pi-2* и *Pi-b* относятся к генам широкого спектра устойчивости к пирикулярриозу (Wang et al., 2023; Vasudevan et al., 2016).

Ген *Pi-2* был картирован на 6-м хромосоме вблизи центромерной области и близко расположен с тремя другими генами устойчивости к пирикулярриозу *Pi9*, *Piz-t* и *Piz*, которые совместно с ним обеспечивают широкий спектр устойчивости к разным наборам штаммов *Pyricularia oryzae* Cav (*Magnaporthe oryzae*) (Singh et al., 2023).

Ген *Pi-b* был первым клонированным геном устойчивости риса к пирикулярриозу. Он был идентифицирован в малайзийском сорте риса indica-типа *Engkatek* и клонирован из почти изогенной линии *Tohoku IL9* (Wang et al., 1999) на основе информации об его картировании на дистальном конце длинного плеча хромосомы 2 (Shinoda et al., 1971). Доминантный ген *Pi-b* способен обеспечивать широкий спектр резистентности, особенно против рас грибкового патогена *Pyricularia oryzae* Cav (*Magnaporthe oryzae*) из Юго-Восточной Азии (Vasudevan et al., 2016).

Таким образом, сочетание в одном генотипе риса доминантных аллелей генов устойчивости к пирикулярриозу *Pi-2* и *Pi-b* позволит растениям противостоять большому количеству рас патогена *Pyricularia oryzae* Cav (*Magnaporthe oryzae*).

Ранее мы проводили изучение селекционных линий риса на наличие 6 генов устойчивости к пирикулярриозу *Pi-1*, *Pi-2*, *Pi-33*, *Pi-ta*, *Pi-b* и *Pi-40* (Шумская и др., 2023), по результатам которого селекционером был проведен отбор ценных генотипов с генами устойчивости в гомозиготном аллельном состоянии, а образцы, обладающие гетерозиготным состоянием аллелей различных генов, высевались в гибридном питомнике с целью дальнейшего анализа расщепления и выделения гомозигот.

Исходя из вышесказанного, целью проведенных в 2022–2023 гг. анализов было выявление аллелей генов устойчивости к пирикулярриозу *Pi-2* и *Pi-b* в селекционных образцах риса.

Материалы и методы исследований.

В 2022–2023 гг. нами изучалось 187 образцов риса по гену *Pi-2* (F_3 – 12 шт., F_6 – 7 шт., F_7 – 33 шт., F_8 – 113 шт., F_9 – 16 шт., F_{10} – 6 шт.) и 115 образцов риса по гену *Pi-b* (F_3 – 3 шт., F_8 – 93 шт., F_9 – 16 шт., F_{10} – 3 шт.). Количество анализируемых линий по каждому гену и гибриднему поколению определялось согласно необ-

ходимости для селекционера. Селекционные линии (из питомника ручного посева урожая 2022 г.) для исследования были предоставлены лабораторией селекции и семеноводства риса ФГБНУ «АНЦ «Донской». Использовали следующие методы: получение ДНК, пригодной для выполнения реакции амплификации, коммерческим набором российского производства «ДНК-Экстран-3» (Синтол, Москва), оценка количества и качества выделенной геномной ДНК на спектрофотометре Allsheng Nano-500, проведение ПЦР-реакции на целевые гены *Pi-2* (молекулярным внутригенным SSR-маркером *Rm527*) (Шумская и др., 2023) и *Pi-b* (внутригенной 3-праймерной системой SSR-маркеров *Pi-b-F1*, *Pi-b-R2*, *Pi-b-R3*) (Супрун и др., 2007), выполнение электрофореза фрагментов ДНК в 2%-м агарозном геле, иденти-

фикация в образцах риса генов устойчивости к пирикулярриозу *Pi-2* и *Pi-b* с помощью прибора Bio-Rad Molecular Imager GelDoc XR+ и анализа в программном обеспечении ImageLab 5.1.

Результаты и их обсуждение. Ген *Pi-2*.

Ген *Pi-2* характеризуется как ген широкого спектра резистентности к заболеванию пирикулярриозом. Сотрудники нашей лаборатории его идентифицировали с применением специфичного маркера *Rm527*. Этот маркер является высокоинформативным для определения аллелей локуса *Pi-2*. Размер ампликона по данному локусу составляет 233 п. н. (Шумская и др., 2023).

На рисунке 1 показана одна из полученных нами электрофореграмм продуктов амплификации ДНК образцов риса.

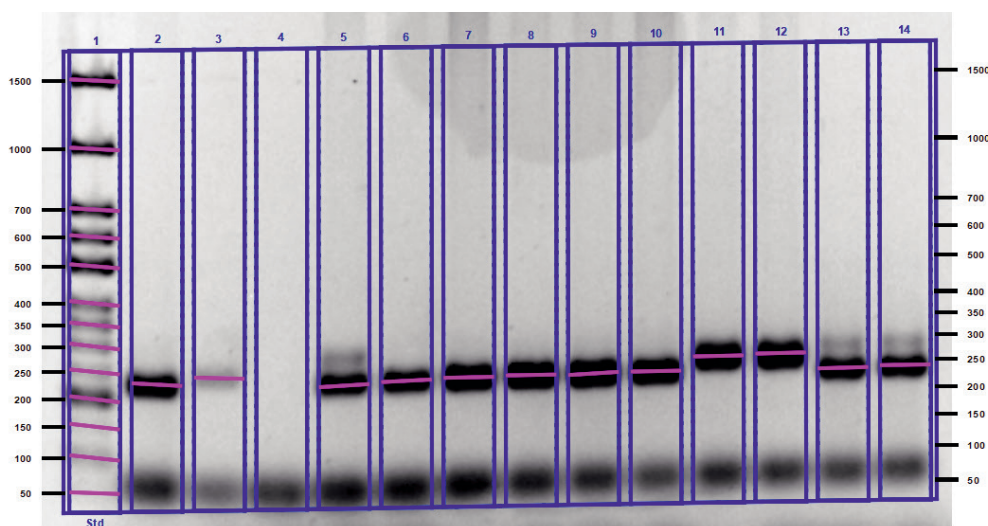


Рис. 1. Скрининг образцов риса на наличие гена устойчивости к пирикулярриозу *Pi-2* на 2 %-м агарозном геле*:
1 – маркер длин ДНК Biolabmix Step 50+ bp 1,5 Kb DNA Ladder;
2 – Боярин (контроль нефункционального аллеля);
3 – **C101-A-51 (донор гена *Pi-2*, положительный контроль)**; 4 – H₂O (отрицательный контроль опыта);
5 – 2136/1; 6 – 2136/2; 7 – 2137; 8 – 2138; 9 – 2141; 10 – 2143; 11 – **2153**; 12 – **2154**; 13 – 2403; 14 – 2404.

Примечание. *Расшифровка комбинаций скрещивания, к которым относятся селекционные номера образцов: 2136-2143 – (Крупнозерный × Стрелец) × Магнат, 2153-2154 – Магнат × Кубояр, 2403-2404 – Магнат × (Крупнозерный × Боярин).

Fig. 1. Screening of rice samples on the presence of blast resistance gene *Pi-2* on 2% agarose gel:

1 – a DNA length marker 'Biolabmix Step 50+ bp 1.5 Kb DNA Ladder', 2 – 'Boyarin' (non-functional allele control), 3 – **C101-A-51 (a *Pi-2* gene donor, positive control)**, 4 – H₂O (negative control of the trial), 5 – 2136/1, 6 – 2136/2, 7 – 2137, 8 – 2138, 9 – 2141, 10 – 2143, 11 – **2153**, 12 – **2154**, 13 – 2403, 14 – 2404.

Note. *Explanation of the crossing combinations to which the selection numbers of the samples refer: 2136-2143 – (Krupnozerny x Strelets) x Magnat, 2153-2154 – Magnat x Kuboyar, 2403-2404 – Magnat x (Krupnozerny x Boyarin).

На рисунке 1 образцы 11 и 12 (№ 2153 и 2154 соответственно) обладают ампликоном размером 233 пары нуклеотидов, что соответствует размеру ампликона положительного контроля гена устойчивости к пирикулярриозу *Pi-2* от образца C101-A-51. Образцы 5, 13 и 14 являются гетерозиготами по локусу *Rm527*. Другие образцы на рисунке 1 содержали ампликоны, идентичные по размеру рецессивному аллелю сорта Боярин.

Анализ 187 изучаемых образцов показал, что 37 образцов несли функциональный аллель устойчивости *Pi-2* в гомозиготном состоянии: 406 (Контакт × Nerica 1), 1562, 1565, 1567, 1963 (Ил-14 × Кубояр), 2153, 2154 (Магнат × Кубояр), что составляет 19,79 % от общего количества исследованных генотипов; 53 образца имели ген *Pi-2* в гетерозиготном состоянии: 2126 (Крупнозерный × Магнат), 2152 (Магнат × Кубояр), 2167 (Магнат × Партнер), 2374

[(Ил-28 × Кубояр) × Магнат], 2391 [Магнат × (Крупнозерный × Боярин)] и др. – 28,34 %. Семьдесят пять образцов содержали нефункциональный гомозиготный рецессивный аллель гена *Pi-2* (40,11 %).

Двадцать два образца не несли ни одного аллеля гена *Pi-2* (11,76 %). Такое отсутствие амплификации может свидетельствовать об изменениях в геноме исследованных образцов, вследствие чего молекулярный маркер, разработанный на специфическую последовательность нуклеотидов, не может взаимодействовать с геномной ДНК-матрицей.

Проанализированные образцы риса, имеющие ген *Pi-2* в гетерозиготном состоянии, могут быть использованы в селекционном процессе с обязательной дальнейшей детекцией аллелей этого гена в полученном потомстве.

Образцы с наличием функционального аллеля гена *Pi-2* в гомозиготном состоянии ре-

комендуются для использования в селекции на устойчивость к пирикулярриозу.

Ген *Pi-b*. Для идентификации гена *Pi-b* нами использовался внутригенный маркер *Pi-b* (*Pi-bF1+Pi-bR2+Pi-bR3*) кодоминантного типа, способный определять как доминантный, так и рецессивный его аллели (праймеры: *Pi-b-F1* 5'- GAA CAG CTT GCT CGG AAT CCA -3'; *Pi-b-R2* 5'- TAC TGC ATT GTG CAG CTT GTG -3'; *Pi-b-R3* 5'- ATA CAT CGA CCA GCT ATT TGC C -3'). Молекулярный размер ампликона маркера составляет 490 п. н. у сортов с устойчивым аллелем гена *Pi-b*, а у сортов с восприимчивым аллелем размер ампликона составляет 249 п. н. (Супрун и др., 2007).

В результате анализа 115 образцов были получены рабочие электрофореграммы. На рис. 2 показана одна из них в качестве примера.

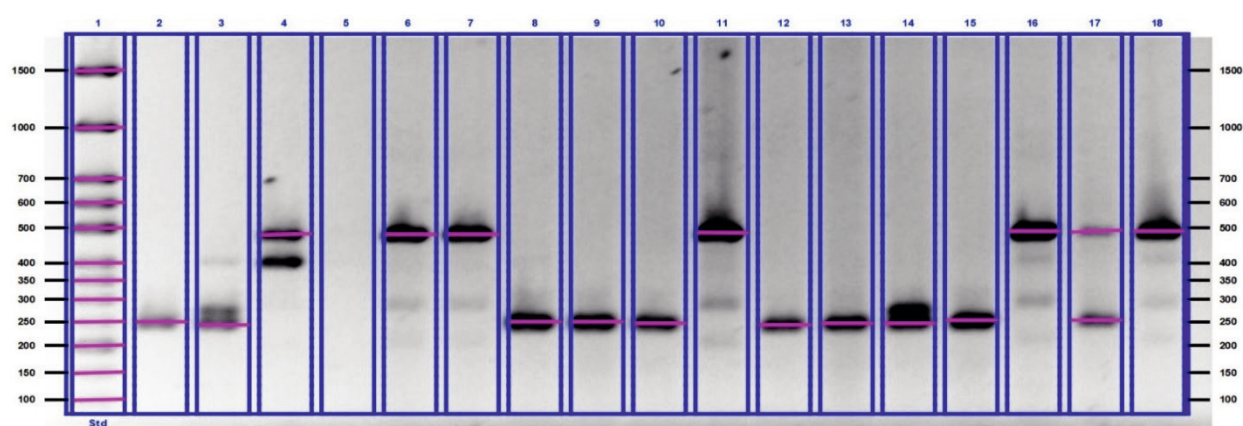


Рис. 2. Электрофореграмма скрининга образцов риса на наличие гена устойчивости к пирикулярриозу *Pi-b* на агарозном геле: 1 – маркер длин ДНК Biolabmix Step 50+ bp 1,5 Kb DNA Ladder; 2 – Боярин (контроль нефункционального аллеля); 3 – Виразж (контроль нефункционального аллеля); 4 – **BL-1 (донор гена *Pi-b*, положительный контроль)**; 5 – H₂O деионизированная (отрицательный контроль опыта); 6 – 4238; 7 – 4241; 8 – 4244; 9 – 4252; 10 – 4255; 11 – 4256; 12 – 4266; 13 – 4267; 14 – 4268; 15 – 4271; 16 – 4275; 17 – 4277; 18 – 4281.

Примечание. *Расшифровка комбинаций скрещивания, к которым относятся селекционные номера образцов: 4238-4244 – *Pi-1+2+33+ta+b* × Кубояр, 4252 – Пентаген 1 × Кубояр, 4255, 4256 – Пентаген 3 × Кубояр, 4266-4281 – *Pi-1+2+33+ta+b* × Кубояр).

Fig. 2. Electropherogram of rice samples screening on the presence of blast resistance gene *Pi-b* on 2% agarose gel: 1 – a DNA length marker 'Biolabmix Step 50+ bp 1.5 Kb DNA Ladder', 2 – 'Boyarin' (non-functional allele control), 3 – 'Virazh' (non-functional allele control), 4 – **BL-1 (a *Pi-b* gene donor, positive control)**, 5 – deionized H₂O (negative control of the trial), 6 – 4238, 7 – 4241, 8 – 4244, 9 – 4252, 10 – 4255, 11 – 4256, 12 – 4266, 13 – 4267, 14 – 4268, 15 – 4271, 16 – 4275, 17 – 4277, 18 – 4281

Note. *Explanation of the crossing combinations to which the selection numbers of the samples refer: 4238-4244 – *Pi-1+2+33+ta+b* × Kuboyar, 4252 – Pentagen 1 × Kuboyar, 4255, 4256 – Pentagen 3 × Kuboyar, 4266-4281 – *Pi-1+2+33+ta+b* × Kuboyar.

На рисунке 2 доминантный аллель гена *Pi-b* в гомозиготном состоянии (490 п. н.) выявлен у образцов 6, 7, 11, 16, 18 (№ 4238, 4241, 4256, 4275, 4281 соответственно). Аллель гена *Pi-b* в нефункциональном гомозиготном состоянии (249 п. н.) можно выделить у образцов 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 (№ 4244, 4252, 4255, 4266, 4267, 4268, 4271). Образец 17 (№ 4277) имел гетерозиготное аллельное состояние гена *Pi-b*.

По результатам проведенного в 2022–2023 гг. анализа можно сделать следующие выводы: 35 образцов риса несли функциональный аллель гена *Pi-b* в гомозиготном состоянии: 4228, 4229, 4230, 4231, 4232, 4238, 4241, 4275, 4281 (*Pi-1+2+33+ta+b* × Кубояр) и др., что составляет 30,43 % от исследованных генотипов. В гетерозиготном аллельном состоянии ген *Pi-b* был выявлен у 35 образ-

цов риса: 2823, 2824, 2826, 2830, 2831, 4277 ($Pi-1+2+33+ta+b \times$ Кубояр) и др., что также составляет 30,43 % от суммарного количества. Нефункциональный гомозиготный аллель гена $Pi-b$ был найден у 43 образцов (37,39 %). У двух образцов (1,74 %) не было выявлено ни одного аллеля гена $Pi-b$, что может свидетельствовать об изменениях в геноме исследованных образцов.

Проанализированные образцы риса, имеющие ген $Pi-b$ в гетерозиготном состоянии, рекомендуются для использования в селекционном процессе с обязательной дальнейшей детекцией аллелей этого гена в полученном потомстве.

Образцы с наличием функционального аллеля $Pi-b$ в гомозиготном состоянии рекомендуются для использования в селекции на устойчивость к пирикулярриозу.

Идентификация сочетания генов устойчивости к пирикулярриозу $Pi-2$ и $Pi-b$.

После проведения в 2022–2023 гг. анализа и внесения полученных данных в общую рабочую базу было установлено, что гены $Pi-2$ и $Pi-b$ идентифицировались параллельно в 110 образцах (из 187 шт. по гену $Pi-2$ и 115 шт. по гену $Pi-b$).

В результате оценки полученной по результатам анализов генов $Pi-2$ и $Pi-b$ базы данных было выделено 10 образцов риса из комбинации скрещивания $Pi-1+2+33+b+ta \times$ Кубояр, которые сочетали в себе оба исследованных функциональных аллеля гена устойчивости к пирикулярриозу в гомозиготном состоянии (№ 2832, 4153, 4154, 4167, 4222, 4296, 4298, 4301, 4302, 4304). Таким образом, сочетание генов устойчивости к пирикулярриозу $Pi-2$ и $Pi-b$ было выявлено лишь у 9,09 % от исследованных генотипов. Эти 10 генотипов риса предложено ис-

пользовать в биоресурсной коллекции и селекционном питомнике ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Сочетание высокоэффективных генов $Pi-2$ и $Pi-b$ позволит растениям лучше противостоять заболеванию в полевых условиях, а также послужит источником устойчивости при использовании их селекционерами в селекционном процессе, направленном на устойчивость к пирикулярриозу.

Выводы.

1. Доминантный ген $Pi-2$ в гомозиготном состоянии был идентифицирован у 37 селекционных образцов риса (406, 1562, 1565, 1567, 1963, 2153, 2154 и др.), которые могут быть использованы в селекционном процессе на устойчивость к пирикулярриозу.

2. У 35 образцов риса выявлен доминантный ген устойчивости к пирикулярриозу $Pi-b$ в гомозиготном состоянии (4228, 4229, 4230, 4231, 4232, 4238, 4241, 4256, 4275, 4281 и др.), который предложено использовать в селекционном процессе на устойчивость к пирикулярриозу.

3. Селекционные образцы риса, у которых было выявлено гетерозиготное аллельное состояние генов $Pi-2$ и $Pi-b$, могут быть использованы в селекционном процессе с обязательной дальнейшей детекцией аллелей этих генов в полученном потомстве.

4. Десять образцов риса из комбинации скрещивания $Pi-1+2+33+b+ta \times$ Кубояр (№ 2832, 4153, 4154, 4167, 4222, 4296, 4298, 4301, 4302, 4304), у которых было установлено наличие двух доминантных генов устойчивости к пирикулярриозу $Pi-2$ и $Pi-b$ в гомозиготном состоянии, переданы в биоресурсную коллекцию риса ФГБНУ «АНЦ «Донской» и рекомендуются для использования в селекции на устойчивость к пирикулярриозу.

Библиографические ссылки

1. Гученко, С.С. Оценка линий удвоенных гаплоидов риса по морфобиологическим признакам // Вестник ДВО РАН. 2022. № 3. С. 42–48. DOI: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_4
2. Зеленский Г.Л., Зеленская О.В. Селекция риса на повышение его продуктивности (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185, № 1. С. 212–223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-212-223
3. Илюшко М.В., Ромашова М.В., Фисенко П.В., Суницкая Т.В., Гученко С.С., Лелявская В.Н. Идентификация гена устойчивости риса к пирикулярриозу $Pi-ta$ в коллекционных образцах и дальневосточных сортах риса методом молекулярного маркирования // Вестник защиты растений. 2019. Т. 99, № 1. С. 36–39. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-1(99)-36-39
4. Коротенко Т.Л., Брагина О.А., Супрун И.И., Мухина Ж.М., Епифанович Ю.В., Петрухненко А.А., Хорина Т.А. Резистентность к возбудителю пирикулярриоза и морфобиологические особенности генотипов коллекции *Oryza sativa* L. из разных экологогеографических групп в условиях Кубанской зоны рисосеяния // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 1. С. 69–78. DOI: 10.18699/VJ18.333
5. Мынбаева Д.О., Усенбеков Б.Н., Амирова А.К., Жунусбаева Ж.К. Пирикулярриоз риса и методы борьбы // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». 2023. Т. 109, № 1. С. 98–109. DOI: 10.31489/2023BMG1/98-109
6. Супрун И.И., Ильницкая Е.Т., Мухина Ж.М. Создание внутригенного ДНК-маркера гена устойчивости к пирикулярриозу риса $Pi-b$ и его использование в практической селекции // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 5. С. 63–66.
7. Шумская О.В., Вожжова Н.Н., Жогалева О.С., Дубина А.Ю., Костылев П.И. Идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу риса $Pi-1$, $Pi-2$, $Pi-33$, $Pi-40$, $Pi-ta$, $Pi-b$ // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 5. С. 30–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-30-38
8. Jiang H., Li Z., Liu J., Shen Z., Gao G., Zhang Q. Development and evaluation of improved lines with broad-spectrum resistance to rice blast using nine resistance genes // Rice. 2019. Vol. 12, № 1. P. 29. DOI: 10.1186/s12284-019-0292-z

9. Kadeawi S., Swaruno Nasution A., Hairmansis A., Telebanco-Yanoria M. J., Obara M., Hayashi N., Fukuta Y. Pathogenicity of isolates of the rice blast pathogen (*Pyricularia oryzae*) from Indonesia // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105, № 3. P. 675–683. DOI: 10.1094/PDIS-05-20-0949-RE
10. Shinoda H., Toriyama K., Yunoki T., Ezuka A., Sakurai Y. Studies in the varietal resistance of rice to blast. 6. Linkage relationship of blast resistance genes (in Japanese with English summary) // *Annu. Rev. Chugoku Natl. Agric. Exp. Stn.* 1971. Vol. 20, P. 1–25.
11. Singh A. K., Ponnuswamy R., Srinivas Prasad M., Sundaram R. M., Hari Prasad A. S., Senguttuvel P., Kempa Raju K. B., Sruthi K. Improving blast resistance of maintainer line DRR 9B by transferring broad spectrum resistance gene Pi2 by marker assisted selection in rice // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2023. Vol. 29(2), P. 253–262. DOI: 10.1007/s12298-023-01291-y
12. Vasudevan K., Vera Cruz C. M., Gruissem W., Bhullar N. K. Geographically Distinct and Domain-Specific Sequence Variations in the Alleles of Rice Blast Resistance Gene *Pib* // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7, Article number: 915. DOI: 10.3389/fpls.2016.00915
13. Wang Y., Tang S., Guo N., An R., Ren Z., Hu S., Wei X., Jiao G., Xie L., Wang L., Chen Y., Zhao F., Tang S., Hu P., Sheng Z. Pyramiding Rice Blast Resistance Gene *Pi2* and Fragrance Gene *badh2*. // *Agronomy*. 2023. Vol. 13(2), Article number: 589. DOI: 10.3390/agronomy13020589
14. Wang Z. X., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. The *Pib* gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine-rich repeat class of plant disease resistance genes. // *Plant Journal*. 1999. Vol. 19(1), P. 55–64. DOI: 10.1046/j.1365-3113x.1999.00498.x

References

1. Guchenko, S. S. Otsenka linii udvoennykh gaploidov risa po morfobiologicheskim priznakam [Estimation of doubled haploid rice lines according to morphobiological traits] // *Vestnik DVO RAN*. 2022. № 3. S. 42–48. DOI: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_4
2. Zelenskii G. L., Zelenskaya O. V. Seleksiya risa na povyshenie ego produktivnosti (obzor) [Rice breeding to increase its productivity (review)] // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2024. T. 185, № 1. S. 212–223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-212-223
3. Ilyushko M. V., Romashova M. V., Fisenko P. V., Sunitskaya T. V., Guchenko S. S., Lelyavskaya V. N. Identifikatsiya gena ustoichivosti risa k pirikulyariozu *Pi-ta* v kollektsionnykh obratsakh i dal'nevostochnykh sortakh risa metodom molekulyarnogo markirovaniya [Identification of the rice blast resistance gene *Pi-ta* in the collection samples and the Far Eastern rice varieties by molecular marking] // *Vestnik zashchity rastenii*. 2019. T. 99, № 1. S. 36–39. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-1(99)-36-39
4. Korotenko T. L., Bragina O. A., Suprun I. I., Mukhina Zh. M., Epifanovich Yu. V., Petrukhnenko A. A., Khorina T. A. Rezistentnost' k vzbuditelu pirikulyarioza i morfobiologicheskie osobennosti genotipov kollektsii *Oryza sativa* L. iz raznykh ekologogeograficheskikh grupp v usloviyakh Kubanskoj zony risoseyaniya [Resistance to the blast pathogen and morphobiological features of the genotypes of the *Oryza sativa* L. from different ecogeographical groups in the Kuban rice-growing area] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2018. T. 22, № 1. S. 69–78. DOI: 10.18699/VJ18.333
5. Mynbaeva D. O., Usenbekov B. N., Amirova A. K., Zhunusbaeva Zh. K. Pirikulyarioz risa i metody bor'by [Rice blast and control methods] // *Vestnik Karagandinskogo Universiteta. Seriya «Biologiya. Meditsina. Geografiya»*. 2023. T. 109, № 1. S. 98–109. DOI: 10.31489/2023BMG1/98-109
6. Suprun I. I., Il'nitskaya E. T., Mukhina Zh. M. Sozdanie vnutrigennogo DNK-markera gena ustoichivosti k pirikulyariozu risa *Pi-b* i ego ispol'zovanie v prakticheskoi seleksii [Development of an intragenic DNA marker of the rice blast resistance gene *Pi-b* and its use in practical breeding] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2007. № 5. S. 63–66.
7. Shumskaya O. V., Vozhzhova N. N., Zhogaleva O. S., Dubina A. Yu., Kostylev P. I. Identifikatsiya genov ustoichivosti k pirikulyariozu risa *Pi-1*, *Pi-2*, *Pi-33*, *Pi-40*, *Pi-ta*, *Pi-b* [Identification of the rice blast resistance genes *Pi-1*, *Pi-2*, *Pi-33*, *Pi-40*, *Pi-ta*, *Pi-b*] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. T. 15, № 5. S. 30–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-30-38
8. Jiang H., Li Z., Liu J., Shen Z., Gao G., Zhang Q. Development and evaluation of improved lines with broad-spectrum resistance to rice blast using nine resistance genes // *Rice*. 2019. Vol. 12, № 1. P. 29. DOI: 10.1186/s12284-019-0292-z
9. Kadeawi S., Swaruno Nasution A., Hairmansis A., Telebanco-Yanoria M. J., Obara M., Hayashi N., Fukuta Y. Pathogenicity of isolates of the rice blast pathogen (*Pyricularia oryzae*) from Indonesia // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105, № 3. P. 675–683. DOI: 10.1094/PDIS-05-20-0949-RE
10. Shinoda H., Toriyama K., Yunoki T., Ezuka A., Sakurai Y. Studies in the varietal resistance of rice to blast. 6. Linkage relationship of blast resistance genes (in Japanese with English summary) // *Annu. Rev. Chugoku Natl. Agric. Exp. Stn.* 1971. Vol. 20, P. 1–25.
11. Singh A. K., Ponnuswamy R., Srinivas Prasad M., Sundaram R. M., Hari Prasad A. S., Senguttuvel P., Kempa Raju K. B., Sruthi K. Improving blast resistance of maintainer line DRR 9B by transferring broad spectrum resistance gene *Pi2* by marker assisted selection in rice // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2023. Vol. 29(2), P. 253–262. DOI: 10.1007/s12298-023-01291-y
12. Vasudevan K., Vera Cruz C. M., Gruissem W., Bhullar N. K. Geographically Distinct and Domain-Specific Sequence Variations in the Alleles of Rice Blast Resistance Gene *Pib* // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7, Article number: 915. DOI: 10.3389/fpls.2016.00915
13. Wang Y., Tang S., Guo N., An R., Ren Z., Hu S., Wei X., Jiao G., Xie L., Wang L., Chen Y., Zhao F., Tang S., Hu P., Sheng Z. Pyramiding Rice Blast Resistance Gene *Pi2* and Fragrance Gene *badh2*. // *Agronomy*. 2023. Vol. 13(2), Article number: 589. DOI: 10.3390/agronomy13020589
14. Wang Z. X., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. The *Pib* gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine-

rich repeat class of plant disease resistance genes. // Plant Journal. 1999. Vol. 19(1), P. 55–64. DOI: 10.1046/j.1365-3113x.1999.00498.x

Поступила: 02.09.24; доработана после рецензирования: 09.10.24; принята к публикации: 09.10.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шумская О.В. – проведение лабораторных исследований и их анализ, сбор литературных данных и подготовка рукописи; Вожжова Н.Н. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Жогалева О.С. – проведение лабораторных исследований и их анализ; Хахулина Ю.А. – проведение лабораторных исследований и их анализ; Костылев П.И. – сбор и предоставление образцов для анализа.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.16:631.582:631.82(470.32)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-78-87

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ВЛИЯНИЯ СЕВООБОРОТОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА РОССИИ**

И. И. Гуреев, доктор технических наук, заведующий лабораторией севооборотов и адаптивных агротехнологий, gureev06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5995-3322;
А. В. Гостев, доктор сельскохозяйственных наук, директор ФГБНУ «Курский ФАНЦ», gostev@kurskfarc.ru, ORCID ID: 0000-0001-7043-1525;
В. А. Лукьянов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;
С. В. Хлюпина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, sveta46agro@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1864-0455;
И. А. Прущик, научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, kursk.iva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-7737-7397
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Курский федеральный аграрный научный центр»,
305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б; e-mail: kurskfarc@mail.ru*

Цель исследований – определение влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность, качество зерна ярового ячменя и плодородие чернозема типичного в условиях Центрально-Черноземного региона (ЦЧР). Исследования проводили в 2018 и 2022 гг. в многофакторном опыте, размещенном на водораздельном плато научно-производственного подразделения № 2 ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый, содержание гумуса – 5,9 %. Изучали факторы: севообороты – зернопаропропашной и зернотравянопропашной; дозы удобрений – без удобрений, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. Наиболее высокая биологическая урожайность ярового ячменя – до 5,99 т/га – отмечена в зернопаропропашном севообороте с дозой $N_{60}P_{60}K_{60}$. Однако наличие в зернотравянопропашном севообороте многолетних бобовых трав способствовало меньшему снижению гумуса, максимальные потери которого в нем составили 0,14 %, что на 0,02 % ниже, чем в зернопаропропашном севообороте. Тенденции агроэкологического влияния севооборотов и минеральных удобрений на показатели производства зерна ярового ячменя оценены цифровым методом – применением функции желательности Харрингтона. Установлено «приемлемое, удовлетворительное» влияние севооборотов и минеральных удобрений на исследуемые показатели в целом ($d_i = 0,50$), но применительно к отдельным показателям производства зерна уровень влияния севооборотов существенно разнится – от $d_i = 0,12$ «полностью неприемлемое» до $d_i = 0,83$ «наиболее приемлемое». Экологические свойства севооборота проявляются в оценке его влияния на содержание гумуса в почве: «приемлемое, удовлетворительное» ($d_i = 0,38–0,52$). Комплексная оценка последствий минеральных удобрений по большинству показателей возрастала пропорционально их дозе, достигая $d_i = 0,49–0,65$, что свидетельствует об их «приемлемом, удовлетворительном» влиянии.

Ключевые слова: ячмень, севообороты, минеральные удобрения, урожайность, качество зерна, гумус, чернозем типичный.

Для цитирования: Гуреев И. И., Гостев А. В., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Агроэкологическая оценка влияния севооборотов и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя в условиях Центрально-Черноземного региона России // Зерновое хозяйство. 2024. Т. 16, № 5. С. 78–87. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-78-87.

**AGROECOLOGICAL ESTIMATION
OF THE EFFECT OF CROP ROTATION AND MINERAL FERTILIZERS
ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SPRING BARLEY GRAIN
IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION OF RUSSIA**

I. I. Gureev, Doctor of Technical Sciences, head of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, gureev06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5995-3322;
A. V. Gostev, Doctor of Agricultural Sciences, director Federal Agricultural Kursk Research Center, gostev@kurskfarc.ru, ORCID ID: 0000-0001-7043-1525;
V. A. Lukyanov, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;
S. V. Khlyupina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, sveta46agro@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1864-0455;

I.A. Prushchik, researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, kursk.iva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-7737-7397
Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, Karl Marks Str., 70b; e-mail: kurskfarc@mail.ru

The purpose of the current study was to determine the effect of crop rotations and doses of mineral fertilizers on productivity, grain quality of spring barley and fertility of typical chernozem in the Central Chernozem Region (CBR). The study was conducted in a multifactorial trial located on the watershed plateau of the research and production department No. 2 of the Federal Agricultural Kursk Research Center in 2018 and 2022. The soil of the experimental plot was typical medium-loamy chernozem, with 5.9 % of humus. There have been studied such factors as grain-fallow-row and grain-grass-row crop rotations; with fertilizer doses and no fertilizers, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. The highest biological productivity of spring barley up to 5.99 t/ha was identified in the grain-fallow-row crop rotation with the dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$. However, the presence of perennial leguminous grasses in the grain-grass-row crop rotation contributed to a smaller decrease in humus, the maximum loss of which in it was 0.14 %, which was 0.02 % lower than in the grain-fallow-row crop rotation. The trends of agroecological effect of crop rotations and mineral fertilizers on the indicators of spring barley grain production were estimated with a digital method, namely the Harrington desirability function. There has been established an "acceptable, satisfactory" effect of crop rotations and mineral fertilizers on the studied indicators ($d_i = 0.50$), but in relation to individual indicators of grain production, the level of effect of crop rotations varies significantly from $d_i = 0.12$ "completely unacceptable" to $d_i = 0.83$ "most acceptable". The ecological properties of crop rotation are manifested in the estimation of its effect on the humus content in the soil: "acceptable, satisfactory" ($d_i = 0.38-0.52$). The comprehensive estimation of the effect of mineral fertilizers for most indicators has increased proportionally to their dose, reaching $d_i = 0.49-0.65$, which indicates their "acceptable, satisfactory" effect.

Keywords: barley, crop rotation, mineral fertilizers, productivity, grain quality, humus, typical blackearth.

Введение. Одной из важнейших продовольственных задач аграриев Центрально-Черноземного региона страны было и остается производство зерна ячменя высокого качества. Эта культура универсальна, имеет продовольственную, техническую и фуражную направленность, обеспечивая экономическую стабильность и продовольственную безопасность нашей страны (Hladkikh et al., 2022; Тютюнов и др., 2023).

Яровой ячмень хорошо реагирует на приемы интенсификации производства – внесение удобрений, способы обработки почвы. Хороший эффект дает его правильное размещение в севообороте. Сегодня многие производители сельскохозяйственной продукции реализуют лишь 60–70 % возможностей урожайности культуры (Сабитов, 2023; Науметов, 2022; Holland et al., 2021). В этой связи для увеличения производства зерна ячменя требуются разработка и апробация адаптивных технологий, основанных на реализации биологических и антропогенных факторов выращивания, близких к местным условиям и имеющих положительное воздействие на элементы структуры урожая и качества зерна с учетом агрохимических свойств почвы (Piskareva et al., 2021; Пасынков и Пасынкова, 2020).

На показатели качества зерна ячменя, помимо минерального питания, большое влияние оказывают гидротермические условия (Kondratenko et al., 2022). В целом почвенно-климатические условия Центрально-Черноземного региона соответствуют получению урожайности ярового ячменя более 7 т/га. Лимитирующим фактором выступает географическое расположение региона в зоне неустойчивого увлажнения, вследствие чего из пяти лет ротации культуры три года выпадают на засушливые в разные периоды вегетации. Следовательно, дефицит влаги здесь оказывается одним из основных факторов

формирования урожая культуры (Левакова, 2022). Решение данной проблемы во многом зависит от правильного выбора предшественника и доз минеральных удобрений, которые способствуют созданию благоприятных условий для развития ячменя и сохранению плодородия почвы (Naeem et al., 2022; Радайкина и Камалихин, 2023; Poliovyu et al., 2021).

Цель исследований – определение влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность, качество зерна ярового ячменя и плодородие чернозема типичного в условиях ЦЧР.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2018 и 2022 гг. на водораздельном плато многофакторного опыта, размещенного в научно-производственном подразделении № 2 ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (село Панино, Медвенский район, Курская область). В качестве факторов изучали развернутые во времени севообороты и дозы минеральных удобрений. Исследовали следующие севообороты (фактор А): зернопаропропашной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) – чистый пар); зернотравнопропашной (озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) + эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) – эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) первого года пользования. Минеральные удобрения (фактор В) содержали варианты: без удобрений, $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$. Минеральные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, дозы которых рассчитывали для поддержания в почве уравновешенного (одинарная) и положительного (двойная) баланса питательных веществ в зависимости от уровня почвенного плодородия и потребности растений в элементах питания.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь которых составляла 100 м². Повторность двукратная. Сорт ярового ячменя – Суздалец. Основная обработка почвы включала отвальную вспашку на глубину 20–22 см (МТЗ-1221 + ПНО-4-35). Элементы структуры урожая и биологическую урожайность определяли с использованием методики Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 5,9 %, pH_{KCl} (ГОСТ 26483-85) – 6,5, щелочногидролизуемого азота (метод Корнфилда) – 18,0 мг/100 г, подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) – 14,8 мг/100 г, подвижного калия (ГОСТ 26204-91) – 11,7 мг/100 г

почвы. Качество зерна определяли в соответствии со стандартами: содержание белка – ГОСТ 10846-91, масса 1000 зерен – ГОСТ 10842-89.

Опытные данные обрабатывали с использованием цифровых технологий по методике оптимального планирования многофакторного эксперимента (Бородюк и др., 1983), а также методами дисперсионного анализа (Доспехов, 2014). Для определения статистических показателей применяли программу Statistica 10.0.

Агрометеорологические условия в период вегетации ярового ячменя в годы исследований (2018, 2022 гг.) были различными по температурному режиму и количеству выпавших осадков (рис. 1).

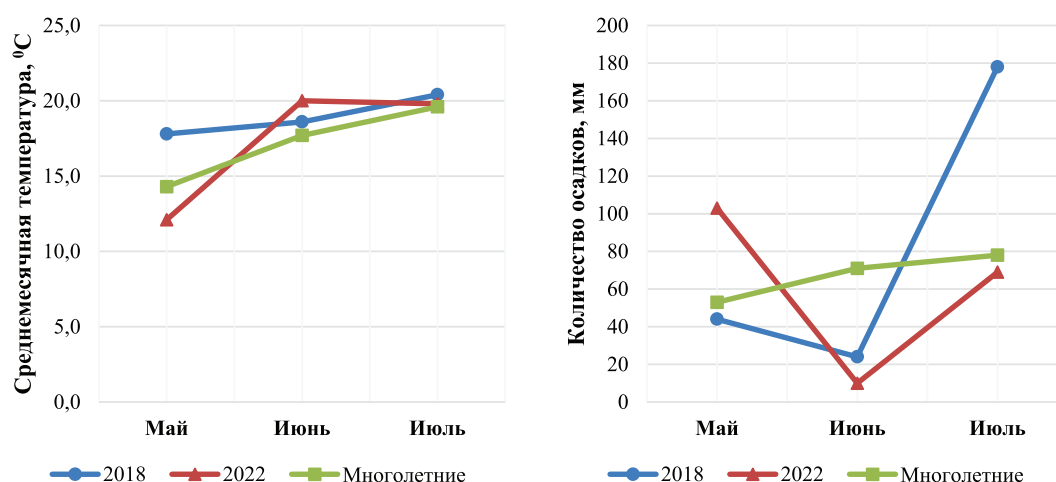


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков в периоды вегетации ячменя (среднее за 2018, 2022 гг.)

Fig. 1. Mean monthly air temperature and precipitation during the barley vegetation period (mean in 2018, 2022)

Погодные условия сильно различались в периоды вегетации ячменя, наблюдалась общая тенденция увеличения среднесуточных температур. В 2018 г. среднемесячная температура воздуха превышала среднюю многолетнюю норму с апреля по май на 0,9–3,5 °C, в 2022 г. – на 0,2–2,3 °C. В 2018 г. в период активного роста и развития ячменя месячные суммы осадков были меньше средней многолетней нормы: в апреле – на 33 мм, в мае – на 9 мм, в июне – на 47 мм и только в июле сумма осадков была больше на 100 мм. В 2022 г. в апреле и мае осадков выпало больше многолетней нормы на 71 и 50 мм, в июне и июле – меньше на 61 и 9 мм соответственно.

На основе данных по температурному режиму и количеством осадков, изучены гидротермические условия по каждому месяцу в периоды вегетации ярового ячменя. 2018 г. был наименее благоприятным по сравнению с 2022 г.: в мае и июне сложился дефицит осадков, в связи с чем сформировались засушливые и очень засушливые условия (ГТК = 0,80

и 0,43). Только в июле выпало большое количество осадков, превышающее месячные многолетние нормы (ГТК = 2,82). В 2022 г. в мае выпало обильное количество осадков (ГТК = 2,75), в июне складывались сухие условия (ГТК = 0,17), в июле отмечались более благоприятные условия (ГТК = 1,12).

Тенденции влияния севооборотов и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя оценены применением функции желательности Харрингтона. Особенностью данного подхода является возможность несколько признаков ($i = 1, 2, \dots, n$) преобразовать в безразмерную шкалу, обобщающую частные желательности (Бородюк и др., 1983). Построена шкала методом индивидуальных оценок в диапазоне значений функции от 0 до 1, где неприемлемое значение исследуемых показателей соответствует нулю, а наилучшее – единице. Базовые промежуточные отметки шкалы внутри обозначенного интервала приведены в таблице 1.

Таблица 1. Безразмерная шкала желательности (по Харрингтону)
Table 1. Dimensionless desirability scale (according to Harrington)

Базовые отметки	Оценка свойств функции желательности
1,00	Наилучшее значение
0,80–1,00	Наиболее приемлемое
0,63–0,80	Вполне приемлемое, хорошее
0,37–0,63	Приемлемое, удовлетворительное
0,20–0,37	Неприемлемое, плохое
0–0,20	Полностью неприемлемое

Рассматриваемая задача предполагает шкалу с односторонним ограничением, когда исследуемые показатели y_i преобразовывают в функцию желательности d_i применением экспоненциальной зависимости:

$$d_i = \exp[-\exp(-y'_i)]; \quad (1)$$

где

$$y'_i = b_0 + b_1 y_i. \quad (2)$$

Коэффициенты b_0 и b_1 уравнения (2) определяют на основании опытных данных для значений y_i , соответствующих величине функции желательности d_i в пределах предпочтительного интервала ($a_i; c_i$) внутри безразмерного диапазона шкалы (0; 1):

$$a_i \leq d_i \leq c_i.$$

Для исследуемых процессов неблагоприятное значение $d_i \geq 0,05$ в поле шкалы желательности плавно переходит в благоприятное при $d_i \leq 0,95$:

$$0,05 \leq d_i \leq 0,95.$$

Показатели y_i преобразовывают в функцию желательности d_i следующим образом. Из предпочтительного интервала ($a_i; c_i$) подставляют наибольшее c_{imax} и наименьшее a_{imin} значение в уравнение (1) и получают систему двух уравнений:

$$\begin{aligned} a_{imin} &= \exp[-\exp(-y'_i)]; \\ c_{imax} &= \exp[-\exp(-y'_i)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Дважды прологарифмировав систему (3), определяют две величины y'_i , которые совместно с соответствующими им значениями y_i по-

следовательно подставляют в уравнение (2). Решением новой системы уравнений определяют коэффициенты b_0 и b_1 и рассчитывают частную функцию желательности d_i по формуле (1).

После преобразования показателей y_i в частные желательности d_i их объединяют в обобщенную желательность D , представляющую среднюю геометрическую величину частных значений:

$$D = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i}. \quad (5)$$

Математическая модель (1)–(5) позволяет определять частные и обобщенные желательности в конкретных показателях, укладываемых в диапазон от минимального до максимального значения.

Результаты и их обсуждение. Полученные в результате исследований данные об изменении элементов структуры урожая оказались сопоставимы с научными работами других авторов, в которых показано положительное влияние азотных и сложных форм минеральных удобрений. Так, в работе М. А. Евдокимовой (2021) установлено, что использование минеральных удобрений различного состава благоприятно сказалось на изменениях величины каждого элемента структуры, что повлияло на уровень урожайности ячменя. Использование азотных удобрений в большей степени способствовало увеличению всех представленных элементов структуры урожая по сравнению с фосфорными и калийными. В таблице 2 представлена статистическая обработка данных, полученных в ходе исследований.

Таблица 2. Исходные данные и математическая обработка полученных данных
(среднее за 2018 и 2022 гг.)

Table 2. Initial data and mathematical processing of the obtained data
(mean in 2018 and 2022)

Варианты опыта	Севообороты (фактор А)												НСП ₀₅	
	Зернопаропашной севооборот						Зернотравянопаропашной севооборот							
	Минеральные удобрения (фактор В)													
	1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		А	В
	Повторности		Повторности		Повторности		Повторности		Повторности		Повторности			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Количество продуктивных стеблей, шт./м²	411	488	425	499	425	516	396	436	401	446	408	453	22,4	27,4
Количество зерен в колосе, шт.	26	26	27	26	28	27	26	26	27	26	27	27	0,6	0,7
Масса 1000 зерен, г	46,0	43,9	48,2	44,1	48,2	44,7	50,5	40,4	50,0	40,5	50,4	44,8	3,5	4,2
Биологическая урожайность, т/га	4,92	5,57	5,53	5,72	5,74	6,23	5,20	4,58	5,41	4,70	5,55	5,48	0,6	0,7

Продолжение табл. 2

Варианты опыта	Севообороты (фактор А)												НСП ₀₅	
	Зернопарпропашной севооборот						Зернотравянопропашной севооборот							
	Минеральные удобрения (фактор В)													
	1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		1. Контроль		2. N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀		3. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀		А	В
	Повторности		Повторности		Повторности		Повторности		Повторности		Повторности			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Содержание белка, %	12,6	13,3	13,5	13,1	14,3	13,3	12,6	15,4	12,3	14,7	13,0	15,8	1,8	2,2
Гумус, %	5,56	5,29	5,46	5,08	5,42	5,24	5,51	5,47	5,64	5,27	5,54	5,16	0,15	0,18

Влияние минеральных удобрений и севооборотов на формирование главных элемен-

тов структуры урожая ячменя показано на рисунке 2.

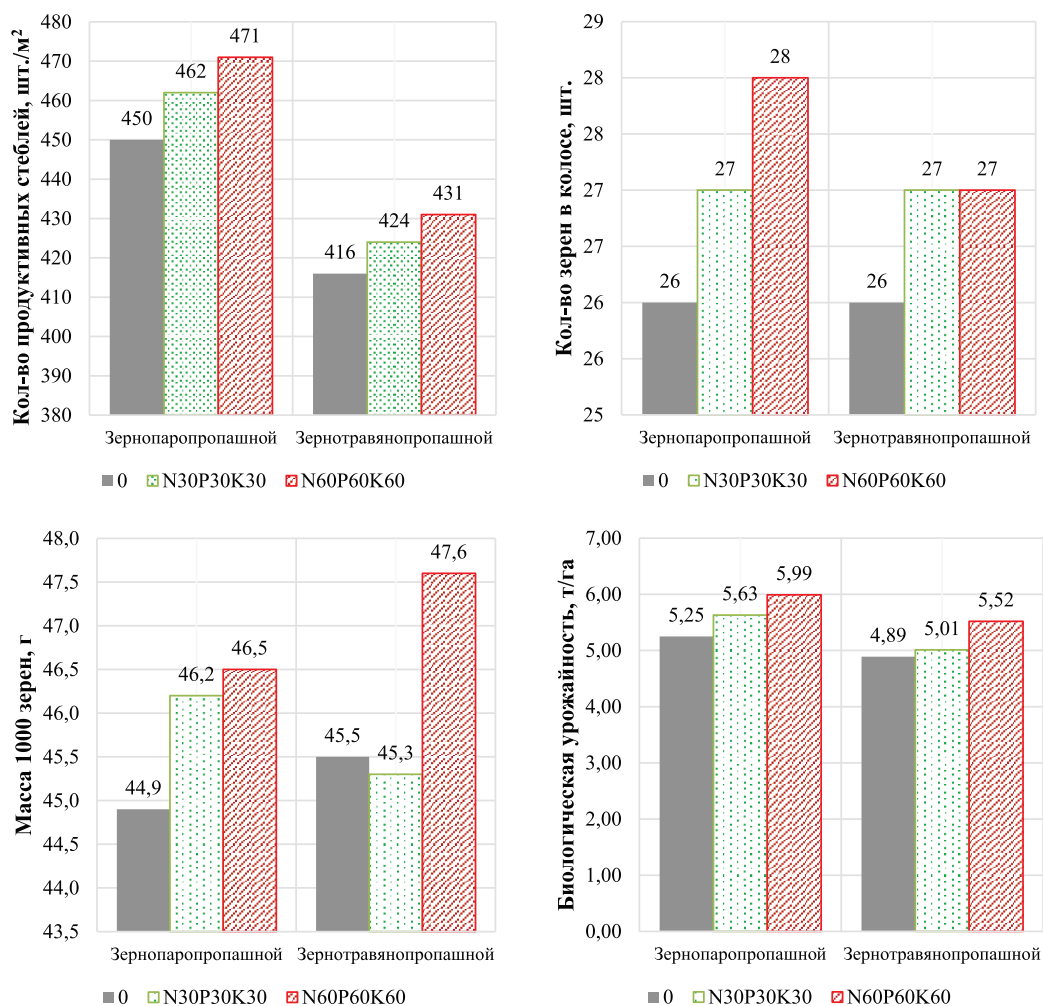


Рис. 2. Показатели структуры урожая зерна ячменя под влиянием минеральных удобрений и севооборотов (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Fig. 2. Indicators of barley grain yield structure under the effect of mineral fertilizers and crop rotations (mean in 2018, 2022).

Примечание. Количество продуктивных стеблей НСП₀₅ = 22,4 (А), 27,4 (В); количество зерен в колосе НСП₀₅ = 0,6 (А), 0,7 (В); масса 1000 зерен НСП₀₅ = 3,5 (А), 4,2 (В); биологическая урожайность НСП₀₅ = 0,6 (А), 0,7 (В).

Лучшие показатели урожая отмечены в зернопарпропашном севообороте, которые позволили получить на 9,5 % более высокую биологическую урожайность зерна ячменя в сравнении с зернотравянопропашным севооборотом. Минеральные удобрения в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ способствовали более активно-

му развитию растений, урожайность зернопарпропашного севооборота возросла на 0,62 т/га в сравнении с зернотравянопропашным (5,01 т/га). Двойная доза N₆₀P₆₀K₆₀ улучшала питательный фон по сравнению с одинарной дозой, и выход зерна увеличился до 5,99 и 5,52 т/га по исследуемым севооборотам. Предпосылкой

более высокой урожайности в зернопаропропашном севообороте являются положительные особенности чистых паров в нем.

Количество продуктивных стеблей в зернопаропропашном севообороте перед уборкой урожая изменялось с 450 до 462 шт./м² с N₃₀P₃₀K₃₀ и до 471 шт./м² с N₆₀P₆₀K₆₀; в зернотравянопропашном продуктивных стеблей было значительно меньше, в среднем на 37 шт./м² по изучаемым дозам удобрений.

Количество зерен в колосе было в среднем 27 шт., и только с дозой N₆₀P₆₀K₆₀ происходило увеличение до 28 шт. В контрольных вариантах по севооборотам их количество было одинаковым (26 шт.).

Важным показателем элементов структуры урожая, от которого зависит выход продукции, является масса 1000 зерен. В варианте без удобрений масса зерна была минимальной – 44,9 г в зернопаропропашном севообороте и 45,5 г – в зернотравянопропашном. Минеральные удобрения в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ повышали массу зерен до 46,2 г, но в зернотравянопропашном севообороте различий с контрольным вариантом не было. Только с N₆₀P₆₀K₆₀ масса повышалась до 47,6 г, что на 1,1 г выше по сравнению с зернопаропропашным севооборотом.

Обеспечение бездефицитного баланса гумуса является актуальнейшей проблемой со-

временного земледелия. В исследовании А.Г. Красноперового и др. (2023) подчеркивается важность сидератов, а также органических удобрений. К применению в качестве сидератов рекомендованы однолетний и многолетний люпин, кормовые бобы, озимая и яровая вика, горох кормовой, донник белый, сераделла, клевер белый, клевер гибридный, клевер луговой, клевер паннонский, а также смешанные бобово-злаковые однолетние культуры, высеваемые после уборки ранних озимых культур. В условиях дерново-подзолистых среднесуглинистых почв при выходе сухой массы растительных остатков в количестве 22,2 т/га в зернотравянопропашном севообороте с 40 % зерновых, 40 % кормовых (картофель) и 20 % пропашных культур не обеспечивается положительный баланс органического вещества, равный 300 кг/га за севооборот. Следовательно, бездефицитного баланса гумуса можно достичь, если использовать усовершенствованные схемы короткоротационных севооборотов с различной степенью насыщенности средообразующими и сидеральными культурами.

В наших исследованиях удалось установить благоприятное воздействие многолетних бобовых трав в структуре зернотравянопропашного севооборота на содержание гумуса (рис. 3).

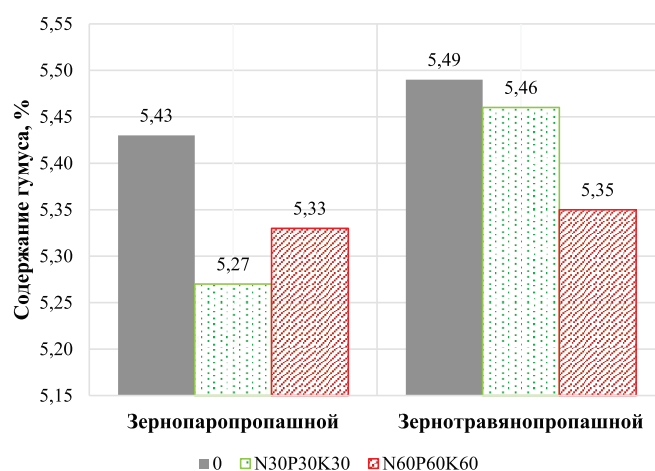


Рис. 3. Влияние минеральных удобрений и севооборотов на содержание гумуса в условиях черноземных почв (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Fig. 3. The effect of mineral fertilizers and crop rotation on the humus content in chernozem soils (mean in 2018, 2022)

Примечание. НСР₀₅ = 0,15 (А), 0,18 (В).

В вариантах с одинарной и двойной дозами содержание гумуса снижалось по сравнению с контролем. Максимальные потери гумуса составили в зернопаропропашном севообороте 0,16 %, а в зернотравянопропашном меньше – 0,14 %.

Технология возделывания ячменя, включающая минеральные удобрения в дозах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₆₀P₆₀K₆₀, позволила увеличить содержание белка в зерне. Его большее содержание отмечено в зернотравянопропашном севообороте (рис. 4).

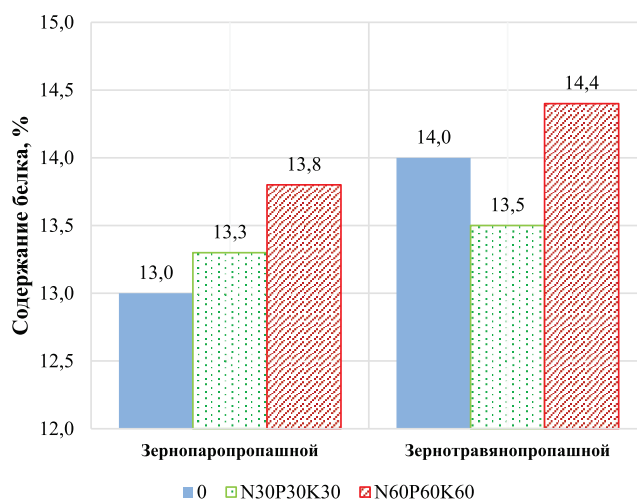


Рис. 4. Содержание белка в зерне ячменя в зависимости от доз минеральных удобрений и севооборотов (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Fig. 4. Protein percentage in barley grain depending on the doses of mineral fertilizers and crop rotations (mean in 2018, 2022)

Примечание. $HCP_{05} = 1,8$ (A), 2,2 (B).

В зернопаропашном севообороте количество белка изменялось с 13,0 (контроль) до 13,3 % с использованием $N_{30}P_{30}K_{30}$ и до 13,8 % с $N_{60}P_{60}K_{60}$. В зернотравянопаропашном севообороте получены более высокие значения по данному показателю: по дозам используемых удобрений происходило увеличение с 14,0 до 14,4 %. Следует отметить, что в зернотравянопаропашном севообороте наблюдалось увеличение количества белка в зерне яч-

меня, особенно эффективной оказалась доза $N_{60}P_{60}K_{60}$.

С использованием функции желательности Харрингтона определены тенденции влияния севооборотов и минеральных удобрений на агроэкологические показатели производства зерна ярового ячменя (табл. 3). Сопоставляя полученные значения желательности с базовыми отметками шкалы в таблице 1, можно сделать следующие выводы.

Таблица 3. Агроэкологические показатели желательности влияния севооборотов и минеральных удобрений на биологическую урожайность и качество зерна ярового ячменя (среднее за 2018 и 2022 гг.)

Table 3. Agroecological indicators of the desirability of the effect of crop rotation and mineral fertilizers on the biological productivity and quality of spring barley grain (mean in 2018 and 2022)

Севооборот	Натуральные значения			Относительный индекс изменчивости			Частная желательность показателей			Обобщенная желательность севооборотов	Оценка по шкале желательности
	NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га				
	0	30	60	0	30	60	0	30	60		
Биологическая урожайность, т/га											
Зернопаропропашной	5,25	5,63	5,99	1,00	1,07	1,14	0,51	0,83	0,95	0,74	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	4,89	5,01	5,52	0,93	0,95	1,05	0,08	0,18	0,76	0,22	Неприемлемое, плохое
Содержание белка в зерне, %											
Зернопаропропашной	13	13,3	13,8	1,00	1,02	1,06	0,51	0,62	0,8	0,63	Приемлемое, удовлетворительное
Зернотравянопропашной	14	13,5	14,4	1,08	1,04	1,11	0,86	0,72	0,91	0,83	Наиболее приемлемое
Содержание гумуса в почве, %											
Зернопаропропашной	5,43	5,27	5,33	1,00	0,97	0,98	0,51	0,30	0,37	0,38	Приемлемое, удовлетворительное
Зернотравянопропашной	5,49	5,46	5,35	1,01	1,01	0,99	0,57	0,57	0,44	0,52	Приемлемое, удовлетворительное
Количество продуктивных стеблей, шт./м²											
Зернопаропропашной	450	462	471	1,00	1,03	1,05	0,51	0,68	0,76	0,64	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	416	424	431	0,92	0,94	0,96	0,05	0,13	0,24	0,12	Полностью неприемлемое

Продолжение табл. 3

Севооборот	Натуральные значения			Относительный индекс изменчивости			Частная желательность показателей			Обобщенная желательность севооборотов	Оценка по шкале желательности
	NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га			NPK, кг д.в./га				
	0	30	60	0	30	60	0	30	60		
Количество зерен в колосе, шт.											
Зернопаропропашной	26	27	28	1,00	1,04	1,08	0,51	0,72	0,86	0,68	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	26	27	27	1,00	1,04	1,04	0,51	0,72	0,72	0,64	Вполне приемлемое, хорошее
Масса 1000 зерен, г											
Зернопаропропашной	44,9	46,2	46,5	1,00	1,03	1,04	0,51	0,68	0,72	0,63	Вполне приемлемое, хорошее
Зернотравянопропашной	45,5	45,3	47,6	1,01	1,01	1,06	0,57	0,57	0,80	0,64	Вполне приемлемое, хорошее
Обобщенная желательность удобрений							0,38	0,49	0,65	Общая оценка желательности 0,50	Приемлемое, удовлетворительное

Совокупное влияние севооборотов и минеральных удобрений на исследуемые показатели «приемлемое, удовлетворительное» ($d_i = 0,50$). По величине частной желательности севообороты оказали на исследуемые показатели в целом «приемлемое, удовлетворительное» влияние ($d_i = 0,41-0,61$). Однако применительно к отдельным показателям производства зерна уровень влияния севооборотов существенно разнится. Так, зернопаропропашной севооборот оказал «вполне приемлемое, хорошее» влияние на урожайность зерна. В то же время влияние зернотравянопропашного севооборота на урожайность по уровню желательности оказалось «неприемлемым, плохим» ($d_i = 0,22$). С другой стороны, зернотравянопропашной севооборот «наиболее приемлемо» сказался на содержании белка в зерне ($d_i = 0,83$). Влияние же зернопаропропашного севооборота на содержание белка несколько ниже – «приемлемое, удовлетворительное» ($d_i = 0,63$).

Экологические свойства севооборота проявляются в оценке его влияния на содержание гумуса в почве. Для зернопаропропашного севооборота частная желательность ($d_i = 0,38$). Уровень частной желательности зернотравянопропашного севооборота в данном случае более благоприятный вследствие наличия бобовых трав в его структуре ($d_i = 0,52$). В целом же влияние севооборотов на содержание гумуса в почве согласно шкале соответствует оценке «приемлемое, удовлетворительное».

На остальные показатели качества зерна влияние исследуемых севооборотов по уровню желательности примерно одинаковое – «вполне приемлемое, хорошее» ($d_i = 0,63-0,68$), за исключением зернотравянопропашного севооборота, оказавшего в условиях исследований «полностью неприемлемое» влияние на показатель количества продуктивных стеблей ($d_i = 0,12$).

Тенденции агроэкологического влияния минеральных удобрений на показатели производства ярового ячменя по большин-

ству показателей как в зернопаропропашном, так и в зернотравянопропашном севообороте возрастали пропорционально их дозе от $d_i = 0,38$ до $d_i = 0,49-0,65$, что свидетельствует об их «приемлемом, удовлетворительном» влиянии.

Применение минеральных удобрений в исследованиях активизировало процесс де гумификации почвы. Поэтому с возрастанием их доз содержание гумуса в почве снижалось, и частная желательность минеральных удобрений для этого показателя уменьшалась с $d_i = 0,51-0,57$ до $d_i = 0,37-0,44$.

Выводы. Предпосылкой более высокой урожайности в зернопаропропашном севообороте являлись положительные особенности чистых паров. Двойная доза $N_{60}P_{60}K_{60}$ в данном севообороте дополнительно улучшала питательный фон, отчего выход зерна увеличился с 5,63 до 5,99 т/га, что выше на 0,62 и 0,47 т/га по сравнению с зернотравянопропашным севооборотом. Элементы структуры урожая, кроме массы 1000 зерен, были в среднем лучше в зернопаропропашном севообороте: количество продуктивных стеблей увеличивалось от 450 до 471 шт./м² в зависимости от используемых доз удобрений; масса 1000 зерен аналогично повышалась от 44,9 до 46,5 г. Применение минеральных видов удобрений способствовало снижению гумуса в изучаемых севооборотах. Наибольшие его потери – 0,16 % наблюдались в зернопаропропашном севообороте.

Согласно полученным значениям обобщенной желательности Харрингтона совокупное влияние севооборотов в целом на агроэкологические показатели производства ячменя удовлетворительное. Но по величине частной желательности уровень влияния севооборотов на отдельные показатели существенно разнится. Так, неприемлемое влияние зернотравянопропашного севооборота на урожайность зерна и количество продуктивных стеблей и в то же время наиболее приемлемое его влияние на содержание белка в зерне. Обобщенная оценка использования минеральных удобрений

ний по большинству показателей возрастала пропорционально их дозе, достигая приемлемого уровня. Однако частная желательность влияния минеральных удобрений на содержание гумуса в почве снижалась с возрастанием

доз удобрений, особенно в зернопаропропашном севообороте.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.

Библиографические ссылки

1. Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З., Кабанов В.А., Круг Г.К., Лисенков А.Н., Мойсюк Б.Н., Сосулин Ю.А., Филаретов Г.Ф., Фомина Е.С. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум): учебное пособие. М.: Высш. школа, 1983. 216 с.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Евдокимова, М.А. Влияние элементов технологий возделывания на структуру урожая ярового ячменя // Агропродовольственная экономика. 2021. № 6. С. 52–57. DOI: 10.54092/24122521_2021_6_52
4. Красноперов А.Г., Зарудный В.А., Пятаков М.А. Баланс органического вещества дерново-подзолистого почв в севооборотах со средообразующими и сидеральными культурами // АгроЭкоИнфо. 2023. № 2(56). Article number: 14. DOI: 10.51419/202132248
5. Левакова, О.В. Вариативность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 3. С. 327–333. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333
6. Науметов, Р.В. Эффективность применения сложных удобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы, ячменя и озимой ржи // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2022. Т. 1, № 2(2). С. 56–61. DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-56-61
7. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Зависимость показателей качества зерна пивоваренного ячменя от уровня минерального питания и гидротермических условий в период вегетации // Агрохимический вестник. 2020. № 3. С. 33–41. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036
8. Радайкина Л.М., Камалихин В.Е. Влияние предшественников на хозяйственную урожайность ярового ячменя // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93(8). С. 166–168. DOI: 10.18411/trnio-01-2023-432
9. Сабитов, М.М. Влияние удобрений в разных звеньях севооборота на продуктивность ячменя в условиях среднего Поволжья // Агрохимический вестник. 2023. № 4. С. 29–34. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-005
10. Тютюнов С.И., Каторгин Д.И., Навольнева Е.В., Азаров А.В., Пойменов А.С. Продуктивность ячменя в зависимости от способа основной обработки почвы, доз органических и минеральных удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 6. С. 61–65. DOI: 10.53859/02352451.2023.37.6.61
11. Hladkikh Ye., Siabruk O., Revtie-Uvarova A., Smychenko V. Effect of integrated plant nutrient management on indicators related to yield and productivity of spring barley (*Hordeum vulgare*) under drought conditions in the growing season // Revista Facultad Nacional de Agronomía. 2022. Vol. 75, № 2. P. 9909–9918. DOI 10.15446/rfnam.v75n2.97384
12. Holland J., Brown J.L., MacKenzie K., Neilson R., Piras S., McKenzie B.M. Over winter cover crops provide yield benefits for spring barley and maintain soil health in northern Europe // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 130, Article number: 12636. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126363
13. Kondratenko E.P., Soboleva O.M., Sergeeva I.A. Influence of weather conditions and weediness on barley (*Hordeum vulgare*) yield // Research on Crops. 2022. Vol. 23, № 1. P. 33–39. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.006
14. Naeem M., Farooq M., Farooq S., Ul-Allah S., Alfarraj S., Hussain M. The impact of different crop sequences on weed infestation and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different tillage systems // Crop Protection. 2021. Vol. 149, Article number: 105759. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105759
15. Piskareva L.A., Cheverdin A. Yu. Productivity and quality indicators of grain barley depending on variety features and level of mineral nutrition // Journal of Agriculture and Environment. 2021. № 1(17), Article number: 8. DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.8
16. Poliovy V., Snitynsky V., Hnativ P., Szulc W., Lahush N., Ivanyuk V., Furmanets M., Kulyk S., Balkovskyy V., Poliukhovych M., Rutkowska B. Agro-ecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the western forest steppe of Ukraine // Journal of Elementology. 2021. Vol. 26, № 2. P. 433–445. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120

References

1. Borodyuk V.P., Voshchinin A.P., Ivanov A.Z., Kabanov V.A., Krug G.K., Lisenkov A.N., Moisyuk B.N., Sosulin Yu. A., Filaretov G.F., Fomina E.S. Statisticheskie metody v inzhenernykh issledovaniyakh (laboratornyi praktikum): ucheb. posobie. [Statistical methods in engineering research (laboratory practice book): Textbook]. M.: Vyssh. shkola, 1983. 216 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-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Evdokimova, M.A. Vliyanie elementov tekhnologii vozdeleyvaniya na strukturu urozhaya yarovogo yachmenya [The effect of cultivation technology elements on spring barley yield structure] // Agroprodovol'stvennaya ekonomika. 2021. № 6. S. 52–57. DOI: 10.54092/24122521_2021_6_52
4. Krasnoperov A.G., Zarudnyi V.A., Pyatakov M.A. Balans organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistoi pochvy v sevooborotakh so sredoobrazuyushchimi i sideral'nymi kul'turami [Balance

of organic matter of sod-podzolic soil in crop rotations with environment-forming and green manure crops] // AgroEkoInfo. 2023. № 2(56). Article number: 14. DOI: 10.51419/202132248

5. Levakova, O.V. Variabel'nost' elementov struktury urozhaya yarovogo yachmenya v zavisimosti ot gidrotermicheskikh uslovii vegetatsii [Variability of spring barley yield structure elements depending on hydrothermal conditions of vegetation] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. T. 23, № 3. S. 327–333. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333

6. Naumetov, R.V. Effektivnost' primeneniya slozhnykh udobrenii na urozhai i kachestvo zerna yarovoi pshenitsy, yachmenya i ozimoi rzhii [Efficiency of complex fertilizers on productivity and grain quality of spring wheat, barley and winter rye] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Sel'skokhozyaistvennye nauki. 2022. T. 1, № 2(2). S. 56–61. DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-56-61

7. Pasyunkov A.V., Pasyunkova E.N. Zavisimost' pokazatelei kachestva zerna pivovarenного yachmenya ot urovnya mineral'nogo pitaniya i gidrotermicheskikh uslovii v period vegetatsii [Dependence of malting barley grain quality indicators on the level of mineral nutrition and hydrothermal conditions during a vegetation period] // Agrokhimicheskii vestnik. 2020. № 3. S. 33–41. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036

8. Radaikina L.M., Kamalikhin V.E. Vliyanie predshestvennikov na khozyaistvennyu urozhainost' yarovogo yachmenya [The effect of forecrops on the economic productivity of spring barley] // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2023. № 93(8). S. 166–168. DOI: 10.18411/trnio-01-2023-432

9. Sabitov, M.M. Vliyanie udobrenii v raznykh zven'yakh sevooborota na produktivnost' yachmenya v usloviyakh srednego Povolzh'ya [The effect of fertilizers in different crop rotation links on barley productivity in the middle Volga region] // Agrokhimicheskii vestnik. 2023. № 4. S. 29–34. DOI: 10.24412/1029-2551-2023-4-005

10. Tyutyunov S.I., Katargin D.I., Navol'neva E. V., Azarov A.V., Poimenov A.S. Produktivnost' yachmenya v zavisimosti ot sposoba osnovnoi obrabotki pochvy, doz organicheskikh i mineral'nykh udobrenii [Barley productivity depending on the method of primary tillage, doses of organic and mineral fertilizers] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 6. S. 61–65. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_61

11. Hladkikh Ye., Siabruk O., Revtie-Uvarova A., Smychenko V. Effect of integrated plant nutrient management on indicators related to yield and productivity of spring barley (*Hordeum vulgare*) under drought conditions in the growing season // Revista Facultad Nacional de Agronomia. 2022. Vol. 75, № 2. P. 9909–9918. DOI 10.15446/rfnam.v75n2.97384

12. Holland J., Brown J.L., MacKenzie K., Neilson R., Piras S., McKenzie B.M. Over winter cover crops provide yield benefits for spring barley and maintain soil health in northern Europe // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 130, Article number: 12636. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126363

13. Kondratenko E.P., Soboleva O.M., Sergeeva I.A. Influence of weather conditions and weediness on barley (*Hordeum vulgare*) yield // Research on Crops. 2022. Vol. 23, № 1. P. 33–39. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.006

14. Naeem M., Farooq S., Ul-Allah S., Alfarraj S., Hussain M. The impact of different crop sequences on weed infestation and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different tillage systems // Crop Protection. 2021. Vol. 149, Article number: 105759. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105759

15. Piskareva L.A., Cheverdin A. Yu. Productivity and quality indicators of grain barley depending on variety features and level of mineral nutrition // Journal of Agriculture and Environment. 2021. № 1(17), Article number: 8. DOI: 10.23649/jae.2021.1.17.8

16. Poliovy V., Snitynsky V., Hnativ P., Szulc W., Lahush N., Ivanyuk V., Furmanets M., Kulyk S., Balkovskyy V., Poliukhovych M., Rutkowska B. Agro-ecological efficiency of a crop fertilization system with the use of phytomass residues in the western forest steppe of Ukraine // Journal of Elementology. 2021. Vol. 26, № 2. P. 433–445. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120

Поступила: 11.06.24; доработана после рецензирования: 27.08.24; принята к публикации: 27.08.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гуреев И.И. – планирование главных этапов полевых исследований, обоснование функции желательности Харрингтона; Гостев А.В. – разработка концепции исследований, обоснование актуальности исследований; Лукьянов В.А. – анализ данных по влиянию минеральных удобрений на элементы структуры урожая и качество зерна, проведение математической обработки; Хлюпина С.В. – подготовка данных, оценка влияния севооборотов как фактора в исследованиях; Прущик И.А. – сбор и обработка полученных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ОБЫКНОВЕННЫХ

М. В. Канцуров, аспирант лаборатории биологии растений, агрохимии и сортовой агротехники сельскохозяйственных культур, kantsurov.maxim@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-7425-0379;

И. Н. Ильинская, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории адаптивно-ландшафтного земледелия и защиты почв от эрозии, izidaar@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7876-1622;

М. И. Рычкова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории биологии растений, агрохимии и сортовой агротехники сельскохозяйственных культур, rychkova-1980@list.ru, ORCID ID: 0000.0003-3236-6368

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, пос. Рассвет, ул. Институтская, д. 1;
e-mail: dzni@mail.ru

Исследования проводили в приазовской сельскохозяйственной зоне Ростовской области в стационарном опыте ФГБНУ ФРАНЦ в 2020–2023 годах. Цель исследований – установить влияние элементов технологии возделывания: способов основной обработки почвы, нормы высева семян и уровня минерального питания на урожайность новых сортов озимой пшеницы в условиях черноземов обыкновенных Ростовской области. Объект исследования – два новых сорта озимой пшеницы: Былина Дона и Акапелла селекции ФГБНУ ФРАНЦ. Схема опыта включала три фактора по каждому сорту. Повторность опыта – трехкратная. При проведении полевых исследований применяли общепринятую методику полевого опыта. Действие различных норм минеральных удобрений и норм высева семян при разных способах основной обработки почвы отразилось на величине урожайности зерна новых сортов озимой пшеницы. В результате трехлетних исследований выявлено положительное влияние отвальной вспашки и нормы высева 5 млн шт./га на фоне $N_{120}P_{80}K_{80}$ кг/га действующего вещества для обоих сортов, обеспечивших наивысшую урожайность – 6,66–7,02 т/га. Выявлена тенденция изменения урожайности новых сортов озимой пшеницы под влиянием изучаемых элементов агротехники, для чего выделены отдельные факторы и рассчитана осредненная урожайность независимо от двух других факторов с учетом вариантов опыта по каждому из них. Наибольшую осредненную урожайность зерна озимой пшеницы сортов Былина Дона и Акапелла, соответственно 5,77 и 6,05 т/га, обеспечил наивысший из изучаемых уровень минерального питания нормой $N_{120}P_{80}K_{80}$ кг/га действующего вещества, позволивший повысить урожайность на 48,3–49,4 % в сравнении с контролем без удобрений. Выявлен оптимальный фон минерального питания – $N_{80}P_{60}K_{60}$ кг/га действующего вещества, обеспечивший максимальную отдачу зерна от удобрений. Сорт Акапелла во всех вариантах опыта формировал урожайность на 4,5–5,1 % выше, чем сорт Былина Дона.

Ключевые слова: озимая пшеница, новые сорта, основная обработка почвы, фон удобрений, норма высева семян, урожайность.

Для цитирования: Канцуров М. В., Ильинская И. Н., Рычкова М. И. Влияние агротехнических приемов на урожайность новых сортов озимой пшеницы на черноземах обыкновенных // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 88–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-88-94.



THE EFFECT OF AGROTECHNICAL METHODS ON PRODUCTIVITY OF NEW WINTER WHEAT VARIETIES ON ORDINARY BLACK EARTH

M. V. Kantsurov, post-graduate of the laboratory for plant biology, agrochemistry and varietal agricultural technology, kantsurov.maxim@yandex.ru., ORCID ID: 0009-0003-7425-0379;

I. N. Ilinskaya, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for adaptive landscape farming, and protection of soil from erosion; izidaar@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7876-1622;

M. I. Rychkova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for plant biology, agrochemistry and varietal agricultural technology, rychkova-1980@list.ru, ORCID ID: 0000.0003-3236-6368

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 conducted in the pre-Azov agricultural area of the Rostov region in the stationary trial of the FSBSI FRARC in 2020–2023. The purpose of the study was to establish the effect of elements of cultivation technology methods, such as methods of basic tillage, seed sowing rates and a level of mineral nutrition on productivity of new winter wheat varieties in the conditions of ordinary blackearth in the Rostov region. The objects of the study were two new winter wheat varieties 'Bylina Dona' and 'Akabella' developed in the FSBSI FRARC. The scheme of the trial included three factors for each variety. The experiment was repeated three times. When conducting the study, there was used the generally accepted methodology of a field trial. The effect of different rates of mineral fertilizers and seed sowing with different methods of basic tillage affected the grain productivity of new winter wheat varieties. As a result

of three-year study, there has been found a positive effect of moldboard plowing and a seeding rate of 5 million pcs./ha against the background of $N_{120}P_{80}K_{80}$ kg/ha of active substance for both varieties, which provided the best productivity of 6.66–7.02 t/ha. There has been established a tendency for changes in productivity of new winter wheat varieties under the effect of the studied elements of agricultural technology, for which there have been identified individual factors and calculated the mean productivity independently of the other two factors, taking into account the experimental options for each of them. The largest mean grain productivity of the winter wheat varieties 'Bylina Dona' and 'Akapella' with 5.77 and 6.05 t/ha, respectively, was provided by the highest level of mineral nutrition, with a norm of $N_{120}P_{80}K_{80}$ kg/ha of active substance, which made it possible to improve productivity by 48.3–49.4 % compared to the control without fertilizers. There has been determined an optimal background of mineral nutrition $N_{80}P_{60}K_{60}$ kg/ha of active substance, which ensured the maximum feedback of grain due to fertilizers. The variety 'Akapella' in all experimental variants produced grain on 4.5–5.1 % higher than that of the variety 'Bylina Dona'.

Keywords: winter wheat, new varieties, basic tillage, background of fertilizers, seed sowing rate, productivity.

Введение. В мировом земледелии озимая пшеница является основной продовольственной сельскохозяйственной культурой. В Ростовской области отмечается тенденция расширения площадей ее возделывания с 2027,5 тыс. га в 2010 г. до 3013,4 тыс. га в 2022 г., то есть на 48,6 %. Ввиду высокой питательной ценности озимая пшеница – наиболее востребованная культура, а повышение ее урожайности и увеличение валовых сборов зерна является основой продовольственной безопасности страны.

В исследованиях вопросов сортовой агротехники и ресурсосберегающих агротехнологий озимой пшеницы преобладает комплексный системный подход, основанный на разработке таких элементов агротехнологий, как сроки, нормы и способы посева, размещение культуры в севообороте, система основной обработки почвы, система удобрений (Клименко и др., 2021).

В различных регионах нашей страны учеными проводились исследования по изучению влияния элементов технологий возделывания на урожайность и качество озимой пшеницы в засушливых условиях Ростовской области, Поволжья, в Центральном-Черноземном регионе. Определено влияние минеральных удобрений, норм высева семян на урожайность озимой пшеницы (Бахвалова и др., 2023) и рассмотрена возможность ее планирования в южной сельскохозяйственной зоне Ростовской области (Овсянникова и др., 2022). Выявлен адаптивный потенциал сортов озимой пшеницы в контрастных условиях минерального питания на Среднем Дону (Бирюков и др., 2023). Изучено влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов озимой пшеницы в приазовской зоне Ростовской области (Вошедский и др., 2022), в засушливых условиях Поволжья (Горянин и др., 2021), и в Центральном-Черноземном регионе (Гуреев и др., 2023).

Рассмотрены агротехнологии, повышающие содержание нитратного азота в почве, урожайность, содержание белка и его фракционный состав в зерне озимой пшеницы в Среднем Поволжье. Дана экономическая и энергетическая оценка эффективности возделывания озимой пшеницы по различным предшественникам, способам основной обработки почвы и удобрения (Вакаева et al., 2020).

Изучены агротехнологии, повышающие содержание нитратов азота в почве, сельскохо-

зяйственных культурах, урожайность, содержание белка и его фракционный состав в зерне озимой пшеницы в Среднем Поволжье, методы первичной обработки почвы и удобрения (Zelenev et al., 2022)

Выявлено влияние различных способов обработки почвы и систем удобрения на содержание гумуса и питательный режим типичных черноземов в агроценозе озимой пшеницы в условиях нестабильного увлажнения лесостепи Украины (Litvinova et al., 2023).

Исследована обработка почвы как инновационный элемент технологии возделывания озимой пшеницы в условиях малоплодородных почв Республики Польша и малого количества осадков (Jaskulska et al., 2020).

Определена урожайность и элементы ее структуры у новых сортообразцов озимой пшеницы в условиях Ставрополья (Ковтун, 2014), а также возможности использования сортовых ресурсов в сельскохозяйственном производстве Крыма (Радченко Л.А. и Радченко А.Ф., 2012). Выявлено влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Саратовском Заволжье (Солодовников, и Левкина, 2020).

Анализ проведенных исследований позволяет заключить, что вопросы агротехнологий возделывания новых сортов озимой пшеницы, в частности система обработки почвы, норма высева семян и система удобрений, обеспечивающие благоприятные условия вегетации, нуждаются в совершенствовании и дополнении с учетом конкретных природных условий.

По данным ряда исследований, возделывание озимой пшеницы в аридных условиях при научно обоснованной агротехнике способствует получению относительно высокой продуктивности культуры с высокой рентабельностью. Однако для новых сортов озимой пшеницы влияние элементов технологии возделывания на продуктивность растений в течение вегетации с учетом их сортовых особенностей практически не изучено. Этим обусловлена актуальность настоящих исследований.

Цель исследований – установить влияние элементов технологии возделывания (способ основной обработки почвы, норма высева семян и уровень минерального питания) на урожайность новых сортов озимой пшеницы в условиях черноземов обыкновенных Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили на опытном поле агрохимии ФГБНУ ФРАНЦ в 2020–2023 годах. Почва представлена черноземом обыкновенным карбонатным среднесиловым легкогоглинистым на лессовидном суглинке. Содержание гумуса в пахотном слое почвы – 3,4–4,1 %, общего азота – 0,20–0,25 %, валового фосфора – 0,16–0,18 %, калия – 2,3–2,4 %. Обеспеченность пахотного слоя минеральным азотом и подвижным фосфором низкая и очень низкая, обменным калием – средняя и повышенная. Реакция почвенного раствора (рН) – 7,1–7,3 ед. Плотность почвы в слое 0–30 см – 1,26 г/см³.

Климат зоны проведения исследований засушливый, умеренно жаркий, континентальный. Годовая температура воздуха в среднем за 40 лет наблюдений составила 9,6 °С, сумма активных температур воздуха – 3200–3400 °С. Продолжительность теплого периода – 230–260 дней, безморозного – 175–180 дней. Относительная влажность воздуха имеет ярко выраженный годовой ход. Наименьшее ее значение отмечается в июле – 50–60 %, в отдельные дни может быть 25–30 % и ниже. Среднегодовое количество осадков 450–500 мм. За теплый период их выпадает до 300 мм. Максимальный запас влаги отмечается рано весной (Агроклиматические ресурсы Ростовской области, 1972).

Для изучения взяты два среднеранних сорта озимой мягкой пшеницы – Былина Дона и Акапелла (патенты № 11003 и № 11004)

(Клименко и др., 2020). Предшественник – чистый пар.

Полевые опыты заложены по следующей схеме: на каждый вариант способов основной обработки почвы наложены варианты с нормой высева семян и варианты фона питания. В схему опыта были включены три фактора.

Фактор А. Обработка почвы: чизельная – на глубину 25–27 см; комбинированная – на глубину 14–16 см в сочетании со щелеванием почвы на 40–45 см, отвальная – на глубину 25–27 см.

Фактор Б. Норма высева – 4,0; 4,5 и 5,0 млн шт./га всхожих семян.

Фактор В. Уровень питания: без удобрений (контроль); средний фон (N₈₀P₆₀K₆₀); повышенный фон (N₁₂₀P₈₀K₈₀).

Повторность опыта – трехкратная, площадь делянки по способам обработки почвы составляла 699 м² (30 м × 23,3 м); по нормам высева – 233 м² (23,3 м × 10 м); по нормам удобрений – 77 м² (10 м × 7,7 м), учетная площадь делянки – 44 м², расположение вариантов опыта систематическое. В опытах применяли методику Б. А. Доспехова (2014).

Посев озимой пшеницы проводили в оптимальные сроки – с 25 августа по 15 сентября селекционной сеялкой СС-11 с последующим прикатыванием посевов кольчатыми катками, уборку проводили комбайном Сампо-500.

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия периода исследований (2020–2023 гг.) различались по годам (табл. 1).

Таблица 1. Тепловлагообеспеченность вегетационного периода озимой пшеницы
Table 1. Heat and moisture availability during winter wheat vegetation period

Месяц, год	Сумма активных температур, °С	Сумма осадков, мм	ГТК
2020–2021	2626	198	0,75
2021–2022	2415	167	0,69
2022–2023	2388	314	1,31
среднее за 2020–2023 гг.			
Сентябрь	518	20,7	0,40
Октябрь	402	23,8	0,59
Ноябрь	130	34,9	2,69
Апрель	333	67,2	2,02
Май	495	51,5	1,04
Июнь	646	28,3	0,44
За период вегетации	2476	226,3	0,91

Период вегетации озимой пшеницы в 2020–2021 гг. (октябрь–июнь) согласно классификации Г.Т. Селянинова по гидротермическому коэффициенту характеризовался как засушливый (ГТК = 0,75). Всего осадков выпало 198 мм, что на 21,2 % оказалось меньше климатической нормы (251 мм). Сумма среднесуточных температур воздуха за период активной вегетации растений составила 2626 °С.

Вегетационный период озимой пшеницы в 2021–2022 гг. в целом характеризовался как засушливый (ГТК = 0,69). Всего осадков выпало 167 мм, что на 33,5 % ниже климатической

нормы. Сумма среднесуточных температур воздуха за этот период составила 2415 °С.

За вегетационный период озимой пшеницы в 2022–2023 гг. выпало 314 мм осадков, или на 25,1 % больше среднесуточной нормы. Сумма активных температур за этот период составила 2388 °С, а ГТК достиг 1,31, что характеризовало его как влажный (ГТК = 1,31).

В среднем за годы проводимых исследований ГТК составил 0,91, что являлось близким к оптимальным значениям соотношения тепла и влаги для роста и развития растений озимой пшеницы.

Действие различных норм минеральных удобрений и норм высева семян при разных способах основной обработки почвы отрази-

лось на величине урожайности зерна новых сортов озимой пшеницы (табл. 2).

Таблица 2. Влияние способа основной обработки почвы, нормы высева семян и нормы минеральных удобрений на урожайность новых сортов озимой пшеницы (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 2. The effect of primary tillage, seed sowing rate and mineral fertilizer rate on productivity of new winter wheat varieties (mean in 2021–2023)

Способ основной обработки почвы	Норма высева млн шт./га	Урожайность, т/га / фон NPK		
		без удобрений (контроль)	N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₂₀ P ₈₀ K ₈₀
Былина Дона				
Вспашка	4,0	3,49	4,50	5,12
Комбинированный		3,34	4,26	4,79
Чизельный		3,35	4,36	4,89
Вспашка	4,5	4,12	5,57	6,12
Комбинированный		3,95	5,21	5,86
Чизельный		3,92	5,23	5,86
Вспашка	5,0	4,40	5,87	6,66
Комбинированный		4,21	5,54	6,28
Чизельный		4,27	5,59	6,36
Акапелла				
Вспашка	4,0	3,62	4,70	5,33
Комбинированный		3,46	4,44	5,00
Чизельный		3,49	4,53	5,09
Вспашка	4,5	4,30	5,72	6,49
Комбинированный		4,07	5,34	6,05
Чизельный		4,14	5,45	6,19
Вспашка	5,0	4,57	6,19	7,02
Комбинированный		4,38	5,86	6,59
Чизельный		4,41	5,95	6,70
HCP ₀₅ = 0,34–0,39 т/га. HCP ₀₅ факторов: А – 0,10–0,14 т/га; Б – 0,11–0,14 т/га; В – 0,11–0,15 т/га				

В результате экспериментальных исследований было определено, что наибольшую урожайность растения озимой пшеницы формировали при отвальном способе основной обработки почвы и норме высева семян 5,0 млн шт./га. На варианте без внесения удобрений она составила 4,40 т/га у сорта Былина Дона и 4,57 т/га у сорта Акапелла. При чизельном и комбинированном способах основной обработки почвы наблюдалось снижение урожайности зерна на 3,5–7,9 % соответственно по сравнению с отвальной вспашкой.

При уменьшении нормы высева семян до 4,5 млн шт./га урожайность озимой пшеницы снизилась и варьировала у сорта Акапелла в зависимости от способа обработки почвы от 4,07 до 4,30 т/га, тогда, как у сорта Былина Дона этот показатель был еще ниже – 3,92–4,12 т/га соответственно. Наименьшая урожайность зерна озимой пшеницы отмечена при норме высева 4,0 млн шт./га, где она изменялась в зависимости от способа обработки почвы у сорта Былина Дона от 3,34 до 3,49 т/га, а у сорта Акапелла – от 3,46 до 3,62 т/га.

При внесении минеральных удобрений наблюдалась существенная разница в урожайности зерна озимой пшеницы по вариантам опыта. У сорта Былина Дона при внесении минераль-

ных удобрений нормой N₈₀P₆₀K₆₀ урожайность зерна в зависимости от способа основной обработки почвы и нормы высева семян в сравнении с контролем увеличилась на 27,5–33,4 %, тогда как у сорта Акапелла – на 29,8–35,4 %. При внесении минеральных удобрений нормой N₁₂₀P₈₀K₈₀ урожайность зерна озимой пшеницы у сорта Былина Дона увеличилась по вариантам опыта до 4,79–6,66 т/га. Более высокую урожайность зерна при норме удобрений N₁₂₀P₈₀K₈₀ сформировали растения озимой пшеницы у сорта Акапелла, где она по вариантам опыта изменялась от 5,0 до 7,02 т/га.

Для определения тенденции изменения величины урожайности новых сортов озимой пшеницы под влиянием изучаемых элементов агротехники были выделены отдельные факторы и рассчитана средняя урожайность независимо от двух других факторов с учетом вариантов опыта по каждому из них (табл. 3).

Так, наивысшая урожайность у сортов Былина Дона (5,09 т/га) и Акапелла (5,32 т/га) была получена при отвальной основной обработке почвы независимо от нормы высева и фона питания, а при чизельной и комбинированной обработках она была ниже по сортам на 4,3 и 5,3 %, 4,1 и 5,6 % соответственно.

Таблица 3. Усредненная урожайность новых сортов озимой пшеницы в зависимости от каждого фактора независимо от влияния других факторов (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 3. Mean productivity of new winter wheat varieties depending on each factor, regardless of the effect of other factors (mean in 2021–2023)

Фактор влияния	Сорт	Усредненная урожайность зерна, т/га			Зависимые факторы
		1	2	3	
Способ обработки	Былина Дона	5,09	4,82	4,87	Норма высева и фон питания
Норма высева	Былина Дона	4,23	5,09	5,46	Способ обработки и фон питания
Фон питания	Былина Дона	3,89	5,13	5,77	Способ обработки и норма высева
Способ обработки	Акапелла	5,32	5,02	5,10	Норма высева и фон питания
Норма высева	Акапелла	4,40	5,30	5,74	Способ обработки и фон питания
Фон питания	Акапелла	4,05	5,35	6,05	Способ обработки и норма высева

Примечание. 1,2,3 – урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от фактора влияния согласно схеме опыта.

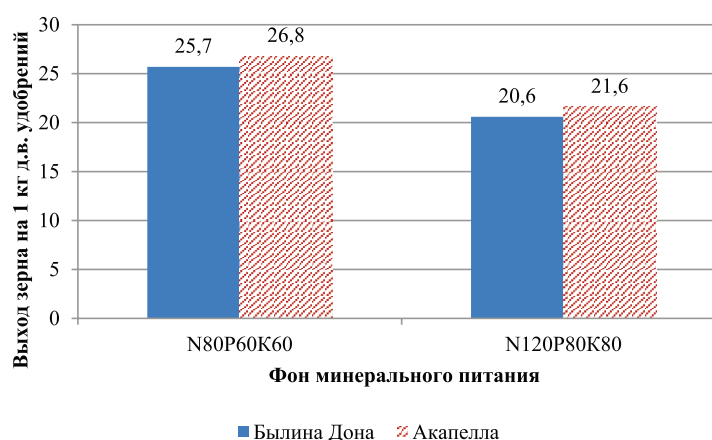
Из трех изучаемых норм высева семян оптимальной при прочих равных условиях оказалась норма 5 млн шт./га, способствующая получению у сортов Былина Дона и Акапелла 5,46 и 5,74 т/га зерна соответственно. Это выше, чем в вариантах с нормами высева 4,0 и 4,5 млн шт./га, на 29,0–7,3 % и 30,4–8,3 % соответственно.

Наибольшую продуктивность озимой пшеницы обоих сортов – 5,77 и 6,05 т/га с преимуществом сорта Акапелла, обеспечил наивысший из изучаемых уровень минерального питания нормой $N_{120}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в., позволив-

ший повысить этот показатель на 48,3–49,4 % в сравнении с контролем без удобрений.

У сорта Акапелла при прочих равных условиях средняя урожайность превысила таковую у сорта Былина Дона на 4,5–5,1 %.

При этом представляет интерес выход зерна (кг) на 1 кг суммы минеральных удобрений в действующем веществе. Согласно расчетам, в обоих вариантах применения удобрений преимущество имел сорт Акапелла, превысивший сорт Былина Дона по этому показателю на 4,3–4,8 % (рисунк).



Выход зерна новых сортов озимой пшеницы на 1 кг минеральных удобрений в зависимости от фона питания (кг)
Grain yield of new winter wheat varieties per 1 kg of mineral fertilizers depending on the nutritional background (kg)

В то же время выявлено, что с увеличением нормы удобрений выход зерна на 1 кг удобрений снизился на 19,8–19,4 %.

Таким образом, в результате трехлетних исследований выявлено положительное влияние отвальной вспашки и нормы высева семян (5 млн шт./га) на фоне $N_{120}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в., обеспечивших наивысшую в среднем за три года урожайность изучаемых сортов – 6,66–7,02 т/га с преимуществом сорта Акапелла.

Выводы. Выявлена тенденция изменения величины урожайности новых сортов озимой пшеницы Былина Дона и Акапелла под влиянием изучаемых элементов агротехники с выделением отдельных факторов неза-

висимо от других. Установлено, что наивысший из изучаемых уровень минерального питания ($N_{120}P_{80}K_{80}$ кг/га д.в.) обеспечил наибольшую усредненную урожайность зерна озимой пшеницы обоих сортов – 5,77 и 6,05 т/га с преимуществом сорта Акапелла. Это позволило повысить урожайность зерна на 48,3–49,4 % в сравнении с контролем.

Определен оптимальный фон минерального питания – $N_{80}P_{60}K_{60}$ кг/га д.в., применение которого обеспечило максимальную отдачу зерна новых сортов.

Сорт Акапелла во всех вариантах опыта формировал урожайность на 4,5–5,1 % выше, чем сорт Былина Дона.

Библиографические ссылки

1. Агроклиматические ресурсы Ростовской области. Л.: Гидрометиздат, 1972. 250 с.
2. Бахвалова С. А., Демьянова-Рой Г. Б., Федорова А. В. Урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от дробного внесения азотных подкормок и норм высева // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 5. С. 78–84. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-78-84
3. 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
4. Вошедский Н. Н., Кулыгин В. А., Целуйко О. А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов озимой пшеницы в Ростовской области // Известия НВ АУК. 2022. № 3(67). С. 125–134. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-15
5. Горянин О. И., Мадякин Е. В., Джангабаев Б. Ж., Яковлева Н. А. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в засушливых условиях Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(1). С. 52–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-52-56
6. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при минимизации приемов агротехники в условиях ЦЧР // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 91–101. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-91-101
7. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5 издание, перераб. и дополн. М.: Альянс, 2014. 351 с.
8. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022–2026 гг. / А. И. Клименко, А. В. Гринько, А. И. Грабовец и др. Ростов н/Д.: ФГБНУ ФРАНЦ, 2021. 738 с.
9. Клименко А. И., Грабовец А. И., Гринько А. В., Фоменко М. А., Крохмаль А. В., Кадушкина В. П., Коробова Н. А., Бирюков К. Н. Сорта полевых культур: каталог. ФГБНУ ФРАНЦ. Ростов н/Д.: ООО «Издательство «Юг», 2020. 168 с.
10. Ковтун, В. И. Урожайность и элементы структуры у новых сортообразцов озимой пшеницы // Земледелие. 2014. № 5. С. 43–44.
11. Овсянникова Г. В., Попов А. С., Сухарев А. А. Возможность планирования урожайности зерна озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. № 4. С. 78–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-78-83
12. Радченко Л. А., Радченко А. Ф. Использование сортовых ресурсов озимой пшеницы в сельскохозяйственном производстве Крыма // Аграрный вестник Урала. 2012. № 10–2. С. 6–8.
13. Солодовников А. П., Левкина А. Ю. Влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Саратовском Заволжье // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 29–35. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp29-35
14. Bakaeva N. P., Saltykova O. L., Korzhavina N. Yu., Prikazchikov M. S. Intensive agricultural technologies of winter wheat cultivation in the Middle Volga region // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, November 13–14, 2019. EDP Sciences. 2020. Vol. 17, P. 00054.
15. Litvinova O., Dehodiuk S., Litvinov D., Havryliuk O., Kyrychenko A., Borys N., Dmytrenko O. Efficiency of technology elements for growing winter wheat on typical chernozem // Agronomy Research. 2023. Vol. 21(3), P. 1199–1212. DOI: 10.15159/ar.23.079
16. Zelenev A. V., Chamurliiev O. G., Krivtsov I. V., Kholod A. A., Sidorov A. N., Vorontsova E. S. Promising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 965, № 1. P. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/965/1/012003
17. Jaskulska I., Jaskulski D., Różniak M., Radziemska M., Gałęzewski L. Zonal tillage as innovative element of the technology of growing winter wheat: A field experiment under low rainfall conditions // Agriculture. 2020. Vol. 10(4), P. 105. DOI: 10.3390/agriculture10040105

References

1. Agroklimaticheskie resursy Rostovskoi oblasti [Agroclimatic resources of the Rostov region]. L.: Gidrometizdat, 1972. 250 s.
2. Bakhvalova S. A., Dem'yanova-Roi G. B., Fedorova A. V. Urozhainost' i kachestvo zerna sortov ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot drobnogo vneseniya azotnykh podkormok i norm vyseva [Productivity and grain quality of winter wheat varieties depending on fractional application of nitrogen fertilizers and seeding rates] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 5. S. 78–84. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-78-84
3. Biryukov K. N., Grabovets A. I., Fomenko M. A., Biryukova O. V., Lyashkov I. V. Adaptivnyi potentsial sortov ozimoi pshenitsy v kontrastnykh usloviyakh mineral'nogo pitaniya na Srednem Donu [Adaptive potential of winter wheat varieties under contrasting conditions of mineral nutrition in the Middle Don] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 2. S. 72–78. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-72-78
4. Voshedskii N. N., Kulygin V. A., Tseluiko O. A. Vliyanie elementov tekhnologii vozdel'yvaniya na urozhainost' novykh sortov ozimoi pshenitsy v Rostovskoi oblasti [The effect of elements of cultivation technology on productivity of new winter wheat varieties in the Rostov region] // Izvestiya NV AUK. 2022. № 3(67). S. 125–134. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-15
5. Goryanin O. I., Madyakin E. V., Dzhangabaev B. Zh., Yakovleva N. A. Sovershenstvovanie tekhnologii vozdel'yvaniya ozimoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Improving the technologies of winter wheat cultivation in the arid conditions of the Volga region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 1(1). S. 52–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-52-56
6. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B., Luk'yanov V. A., Khlyupina S. V., Prushchik I. A. Urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy pri minimizatsii priemov agrotekhniki v usloviyakh TsChR [Productivity and grain quality of winter wheat while minimizing agrotechnical methods

in the conditions of the Central Blackearth Region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. T. 15, № 4. S. 91–101. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-91-1016

7. 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 dopol. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

8. Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoi oblasti na 2022–2026 gg. [Zonal farming systems of the Rostov region for 2022–2026] / A.I. Klimenko, A.V. Grin'ko, A.I. Grabovets i dr. Rostov n/D.: FGBNU FRANTs, 2021. 738 s.

9. Klimenko A.I., Grabovets A.I., Grin'ko A.V., Fomenko M.A., Krokmal' A.V., Kadushkina V.P., Korobova N.A., Biryukov K.N. Sorta polevykh kul'tur: katalog [Varieties of field crops]. FGBNU FRANTs. Rostov n/D.: OOO «Izdatel'stvo «Yug», 2020. 168 s.

10. Kovtun, V.I. Urozhainost' i elementy struktury u novykh sortoobraztsov ozimoi pshenitsy [Productivity and yield structure elements of new winter wheat varieties] // *Zemledelie*. 2014. № 5. S. 43–44.

11. Ovsyannikova G.V., Popov A.S., Sukharev A.A. Vozmozhnost' planirovaniya urozhainosti zerna ozimoi pshenitsy v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Possibility of planning winter wheat grain productivity in the southern part of the Rostov region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. № 4. S. 78–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-78-83

12. Radchenko L.A., Radchenko A.F. Ispol'zovanie sortovykh resursov ozimoi pshenitsy v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve Kryma [Use of varietal resources of winter wheat in agricultural production in the Crimea] // *Agrarnyi vestnik Urala*. 2012. № 10–2. S. 6–8.

13. Solodovnikov A.P., Levkina A. Yu. Vliyanie sposobov obrabotki pochvy i agrokhimikatov na urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy v Saratovskom Zavolzh'e [The effect of tillage methods and agrochemicals on productivity and grain quality of winter wheat in the Saratov Trans-Volga region] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2020. № 3. S. 29–35. DOI: 10.28983/asj.y2020i3pp29-35

14. Bakaeva N.P., Saltykova O.L., Korzhavina N. Yu., Prikazchikov M.S. Intensive agricultural technologies of winter wheat cultivation in the Middle Volga region // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), Kazan, November 13–14, 2019. EDP Sciences. 2020. Vol. 17, P. 00054.

15. Litvinova O., Dehodiuk S., Litvinov D., Havryliuk O., Kyrychenko A., Borys N., Dmytrenko O. Efficiency of technology elements for growing winter wheat on typical chernozem // *Agronomy Research*. 2023. Vol. 21(3), P. 1199–1212, DOI: 10.15159/ar.23.079

16. Zelenev A.V., Chamurliov O.G., Krivtsov I.V., Kholod A.A., Sidorov A.N., Vorontsova E.S. Promising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 965, № 1. P. 012003. DOI: 10.1088/1755-1315/965/1/012003

17. Jaskulska I., Jaskulski D., Różniak M., Radziemska M., Gałęzewski L. Zonal tillage as innovative element of the technology of growing winter wheat: A field experiment under low rainfall conditions // *Agriculture*. 2020. Vol. 10(4), P. 105. DOI: 10.3390/agriculture10040105

Поступила: 27.06.24; доработана после рецензирования: 29.07.24; принята к публикации: 31.07.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Канцуров М.В. – закладка и ведение опыта, учет урожая новых сортов озимой пшеницы, отработка методики проведения полевого опыта, обработка информации, подготовка статьи; Ильинская И.Н. – руководство опытом, корректировка методики в процессе его проведения; Рычкова М.И. – участие в проведении агротехнических мероприятий, учет урожая.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ MINI-TILL И NO-TILL НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ

А. И. Волков, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений, alex-volkov@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-6385-1150;

Л. Н. Прохорова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, lubashka-1502@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4619-9196;

Д. А. Иванов, магистр, аграрно-технологический институт, направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия, danil02322ivanov@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-1871-9322

ФГБОУ ВО Марийский государственный университет,
424002, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Красноармейская, д. 71

Цель исследования – изучить влияние минимальной (mini-till), нулевой (no-till) и традиционной агротехнологий на урожай и качество ячменного пивоваренного зерна. Полевые опыты осуществляли в трехпольном севообороте с чередованием культур озимая рожь – яровая пшеница – ячмень на среднесуглинистой серой лесной почве Чувашии с содержанием гумуса 2,42 %; подвижного фосфора – 188 мг/кг; обменного калия – 160 мг/кг и обменной кислотностью 6,2. В вегетационном периоде 2020 г. гидротермический коэффициент составил 1,04; в 2021 г. – 0,60; а в 2022 г. – 1,05. Объектом изучения служил раннеспелый сорт Эльф. Традиционная агротехнология основывалась на осеннем дисковании и зяблевой вспашке, ранневесеннем бороновании, предпосевной культивации и посеве с последующим прикатыванием. Mini-till включала осеннее дискование, весеннюю культивацию и посев многофункциональным комплексом «Cultibar 9000». No-till состояла из осенней обработки гербицидом сплошного действия «Спрут Экстра» и «прямого» весеннего посева «Cultibar 9000». Норма высева составила 200 кг/га. Доза минеральных удобрений – $N_{30}P_{20}K_{20}$. Уход за посевами включал мероприятия по борьбе с сорной растительностью, болезнями и вредителями. В среднем наивысшая (2,49 т/га) урожайность зерна пивоваренного ячменя была получена при использовании технологии mini-till, а наименьшая (2,34 т/га) – по no-till. Средняя урожайность при традиционной агротехнологии была ниже максимальной на 0,03 т/га, но больше минимальной на 0,12 т/га. Анализ качественных характеристик свидетельствовал о достоверном влиянии агротехнологий на пивоваренные свойства ячменного зерна. Так, традиционная технология способствовала получению зерна 1-го класса, mini-till – 2-го класса, а no-till – 3-го класса межгосударственного стандарта.

Ключевые слова: mini-till, no-till, урожайность, качество, зерно, пивоваренный ячмень.

Для цитирования: Волков А. И., Прохорова Л. Н., Иванов Д. А. Влияние технологий mini-till и no-till на урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 95–100. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-95-100.



THE EFFECT OF MINI-TILL AND NO-TILL TECHNOLOGIES ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF MALTING BARLEY GRAIN

A. I. Volkov, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, head of the department of general agriculture, plant growing, agrochemistry and plant protection, alex-volkov@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-6385-1150;

L. N. Prokhorova, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of agroengineering and production technologies, processing of agricultural products, lubashka-1502@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4619-9196;

D. A. Ivanov, Master's degree student, Agrarian and Technological Institute, direction of training 35.04.06 Agroengineering, danil02322ivanov@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-1871-9322

FSBEI HE Mari State University,
424002, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, Krasnoarmeyskaya Str., 71

The purpose of the current work was to study the effect of mini-till, no-till and traditional agricultural technologies on productivity and quality of malting barley grain. Field trials were carried out in three crop rotation sequences 'winter rye – spring wheat – barley' on medium loamy gray forest soil of Chuvashia with 2.42 % of humus; 188 mg/kg of mobile phosphorus; 160 mg/kg of exchangeable potassium and 6.2 of exchangeable acidity. During the vegetation period of 2020, the hydrothermal coefficient was 1.04; in 2021 it was 0.60; and in 2022 it was 1.05. The object of the study was an early-maturing variety 'Elf'. Traditional agricultural technology was based on autumn disk plowing and autumn plowing, early spring harrowing, seedbed cultivation and sowing with subsequent rolling. Mini-till cultivation included autumn disk plowing, spring cultivation and sowing with the multifunctional complex "Cultibar 9000". No-till cultivation consisted of autumn treatment with the non-selective herbicide "Sprut Extra" and "direct" spring sowing "Cultibar 9000". The seeding rate was 200 kg/ha. The dose of mineral fertilizers was $N_{30}P_{20}K_{20}$. The crops were protected from weeds, diseases, and pests. On average, the largest (2.49 t/ha) productivity of malting barley grain was obtained using mini-till technology, and the smallest (2.34 t/ha) when using no-till. The mean productivity with traditional agricultural

technology was lower than the maximum by 0.03 t/ha, but larger than the minimum by 0.12 t/ha. The analysis of the qualitative characteristics has shown a reliable effect of agricultural technologies on the brewing properties of barley grain. Thus, traditional technology contributed to obtaining grain of the 1st class, mini-till technology contributed to obtaining grain of the 2nd class, and no-till technology contributed to obtaining grain of the 3rd class of the interstate standard.

Keywords: mini-till, no-till, productivity, quality, grain, malting barley.

Введение. На современном этапе развития мирового растениеводства наметилась тенденция по увеличению площадей возделывания ячменя. Ареал его распространения охватывает Европу, Азию, Австралию, Африку, Северную и Южную Америки и проникает даже за Полярный круг (Shirdelmoghanloo et al., 2022; Kumar et al., 2023; Волков и др., 2023).

В Российской Федерации на кормовые, продовольственные и технические нужды культивируются озимые и яровые виды ячменя (Артюхова и др., 2020; Николаев и др., 2020; Хлыстунов и др., 2024). Оптимальные природно-экономические предпосылки для производства пивоваренного ячменя сформировались в Амурской, Белгородской, Брянской, Воронежской, Калининградской, Калужской, Курской, Липецкой, Орловской, Пензенской, Рязанской, Саратовской, Смоленской, Тамбовской и Тульской областях, а также в Мордовской, Татарской и Чувашской Республиках (Хрюкина и др., 2019). Именно в этих регионах сельхозпроизводители добиваются стабильно высоких урожаев ячменя с хорошими пивоваренными показателями (Еряшев и др., 2021; Волков и др., 2023; Волков и др., 2022).

В настоящее время непрерывный рост себестоимости зерна вынуждает отечественных аграриев искать новые способы удешевления его производства. К одним из них относятся применение технологий mini-till и no-till. Минимальная и нулевая технологии хорошо зарекомендовали себя в Поволжье при возделывании озимой ржи, озимой и яровой пшеницы, фуражного ячменя, кукурузы на зерно и силос (Volkov et al., 2021). Однако недостаточно изученным остается вопрос использования данных инновационных технологий при производстве пивоваренного ячменя.

Цель работы – изучить влияние mini-till и no-till на урожайность и качество пивоваренного ячменного зерна.

Материалы и методы исследований. Эксперименты проводили на территории Чувашской Республики в 2020–2022 гг. в трехпольном полевом севообороте со следующим чередованием культур: озимая рожь – яровая пшеница – ячмень. Почва – серая лесная среднесуглинистая; гумус – 2,42%; подвижный фосфор – 188 мг/кг; обменный калий – 160 мг/кг; кислотность (pH_{KCl}) – 6,2. Размер опытных делянок составил 1200 м², учетных – 100 м². Повторность опыта четырехкратная, размещения вариантов – методом рендомизированных повторений. В 2020 г. гидротермический коэффициент вегетационного периода составил 1,04; в 2021 г. – 0,60; а в 2022 г. – 1,05, что спо-

собствовало объективной оценке изучения влияния различных технологий возделывания на урожайность и качество зерна пивоваренного ячменя.

Объектом исследования служил районированный сорт ярового пивоваренного ячменя Эльф. Сорт среднеспелый, вегетационный период составляет 73–95 дней, включен в Госреестр по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам. Двурядный среднерослый ячмень формирует прямостоячий куст и рыхлый остистый цилиндрический колос светло-желтого цвета. Максимальная масса 1000 зерен достигает 54 г. Сорт Эльф обладает высокой устойчивостью к полеганию и поражаемости различными видами головни, имеет среднюю засухоустойчивость, но восприимчив к мучнистой росе, стеблевой ржавчине и трем видам гельминтоспориозных пятнистостей.

Схема опыта

1. Традиционная технология возделывания пивоваренного ячменя (контроль) основывалась на осеннем дисковании БДМ-6 стерни предшественника на 6–8 см и вспашке ПЛН-5-35 на 20–22 см, ранневесеннем бороновании БЗСТ-1,0 на 4–6 см, предпосевной культивации КПС-4 на 6–8 см и посеве сеялкой СЗ-3,6 с последующим прикатыванием ЗКВГ-1,4.

2. Минимальная технология возделывания (mini-till) включала осеннее дискование БДМ-6 стерни предшественника на 6–8 см, весеннюю культивацию на 8–10 см тяжелым культиватором «Лидер» и посев многофункциональным комплексом «Cultibar 9000».

3. Нулевая технология возделывания (no-till) состояла из осенней обработки поля неселективным гербицидом сплошного действия «Спрут Экстра» (1,4 л/га) опрыскивателем ОМПС-2500 «Буря» и «прямого» весеннего посева многофункциональным комплексом «Cultibar 9000».

Посев проводили в первой декаде мая протравленными («Доспех-3» и «Контакт Макс») семенами из расчета 200 кг/га с одновременным внесением комплексных минеральных удобрений ($\text{N}_{30}\text{P}_{20}\text{K}_{20}$). Уход за посевами включал первую обработку полей баковой смесью гербицидов «Примадонна» и «Гранат» с аммиачной селитрой (10 кг/га) в фазу раннего кущения и вторую обработку в фазу колошения – фунгицидом «Цимус Прогресс» с инсектицидом «Питомец». Уборку урожая проводили в первой половине августа. Полевые опыты и статистическую обработку полученных результатов исследований осуществляли по общепринятым методикам.

Определение качественных показателей пивоваренного ячменя проводили

в соответствии с требованиями нормативных документов: ГОСТ 5060-86 «Ячмень пивоваренный. Технические условия» в 2020–2021 гг. и ГОСТ 5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия» в 2022 году.

Результаты и их обсуждение. На урожайность зерна пивоваренного ячменя существенное достоверное влияние оказывала технология возделывания, но решающее значение было за погодными условиями, сложившими-

ся в ходе вегетации изучаемой культуры. Так, в 2020 г. недостаток почвенной влаги в фазу налива зерна не позволил растениям пивоваренного ячменя в полной мере реализовать свой продуктивный потенциал. Наибольшая (2,84 т/га) урожайность зерна в этом году была получена на варианте с традиционной технологией возделывания, а наименьшая (2,46 т/га) – с нулевой (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерна пивоваренного ячменя, т/га
Table 1. Productivity of malting barley grain, t/ha

Технология	Годы исследований			Среднее за 3 года
	2020	2021	2022	
Традиционная	2,84	1,12	3,41	2,46
Mini-till	2,79	1,30	3,38	2,49
No-till	2,46	1,61	2,96	2,34
НСП ₀₅	0,21	0,15	0,24	0,10

Использование mini-till позволило сформировать на 0,33 т/га зерна больше, чем no-till, но меньше на 0,05 т/га, чем при традиционной технологии.

В 2021 г. отсутствие атмосферных осадков с фазы выхода в трубку ячменя до его колошения в совокупности с высокой температурой воздуха и почвы способствовали значительному недобору урожая данной культуры.

Определение количества продуктивной влаги показало, что минимальное (6 мм) ее количество в 0–20 см слое почвы было на опытных делянках с использованием традиционной агротехнологии, а наивысшее (13 мм) – на опытных участках с no-till. Значение данного показателя на делянках с mini-till было на 50 % больше, по сравнению с традиционной технологией возделывания, но на 31 % меньше, чем при no-till. Мульча, сформированная на поверхности поля при нулевой технологии, и в дальнейшем способствовала сохранению почвенной влаги, запасы которой в критические фазы формирования и налива зерна также были в 1,45 и 2,15 раза больше, чем в почве, обрабатываемой по минимальной и традиционной технологиям соответственно.

В данном засушливом году максимальная (1,61 т/га) урожайность была получена на варианте с no-till, а минимальная (1,12 т/га) – на варианте с традиционной технологией возделывания.

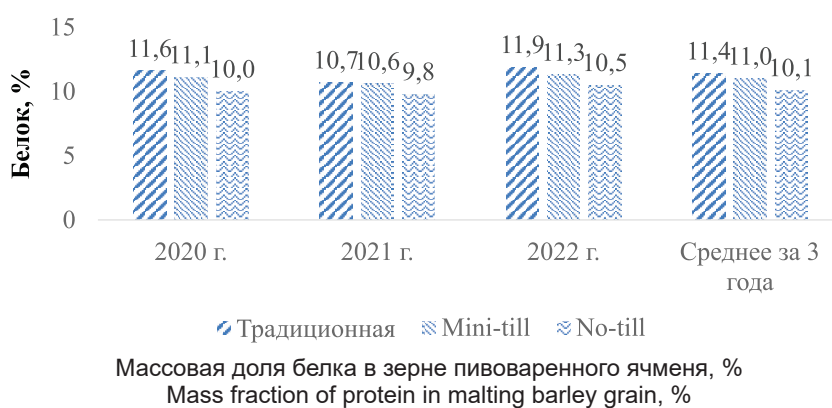
Равномерное распределение тепла и осадков в вегетационный период 2022 г. способствовало созданию благоприятных условий для получения наивысшей продуктивности пивоваренного ячменя. Наибольшая (3,41 т/га) урожайность зерна в этом году была получена на варианте с традиционной технологией возделывания, а минимальная (2,96 т/га) –

при no-till. Использование mini-till способствовало получению урожайности выше на 0,42 т/га, чем при no-till, но на 0,03 т/га ниже, чем при традиционной технологии.

Таким образом, максимальная (2,49 т/га) средняя урожайность пивоваренного ячменного зерна была получена при использовании mini-till, а минимальная (2,34 т/га) – при no-till. При традиционной агротехнологии значение данного показателя уступало максимальному на 0,03 т/га, но достоверно на 0,12 т/га превосходило минимальное значение.

Для пивоварения необходимо получать ячменное зерно с массовой долей белка не ниже 8 % и не выше 12 %. Ячменное зерно с низким содержанием белка не способно обеспечить пивные дрожжи полноценным белковым питанием, что замедляет процесс брожения. Некачественное брожение в свою очередь не позволяет сформировать молодому пиву характерный для него вкусовой и ароматический букет. Напротив, чрезмерное количество белка снижает содержание крахмала и экстрактивность зерна. Такое стекловидное ячменное зерно с высокой концентрацией белка медленнее разрыхляется, но подвержено быстрому самосогреванию при получении из него солода, что в дальнейшем негативно отражается на стойкости и прозрачности готового пива.

Результаты исследований по определению массовой доли белка в опытных зерновых образцах, представленных на рисунке, показывают, что минимальная, нулевая и традиционная агротехнологии совместно с умеренным применением азотных удобрений на серых лесных почвах в погодных условиях Чувашии позволяют выдерживать данный показатель на уровне 9,8–11,9 %, что соответствует требованиям нормативно-технической документации.



Технология возделывания оказывала непосредственное влияние на крупность получаемого зерна. Крупностью называется отношение массы ячменного зерна, сошедшего с сита, имеющего продолговатые отверстия размером 2,5 × 20,0 мм, к общей массе анализируемой навески. Крупность выражается в процентах и является одним из нормируемых показателей при получении солода.

Применение в солодоращении пивоваренного ячменя с высоким процентным содержанием мелкого зерна и пониженной крупностью

снижает выход готового солода из-за высоких потерь сухих веществ, что в конечном итоге отражается на качественных характеристиках готового продукта. Следовательно, использование в соложении большого количества мелкого зерна нецелесообразно как с технологической, так и с экономической точки зрения. Минимальная, нулевая и традиционная агротехнологии позволяют производить зерно, которое отвечает требованиям ГОСТ по количеству мелких зерен и крупности партии (табл. 2).

Таблица 2. Качественные характеристики зерна пивоваренного ячменя, среднее за три года, % (2020–2022 гг.)
Table 2. Quality characteristics of malting barley grain, average for three years (2020–2022), %

Технология	Показатели			
	мелкие зерна	крупность	способность к прорастанию	жизнеспособность
Традиционная	2,5	92,5	96,0	98,0
Mini-till	3,8	87,2	93,0	94,0
No-till	4,5	85,5	91,0	93,0

Пленчатость, или содержание мякоти, также является одним из главных показателей пивоваренных качеств ячменного зерна. Пленчатость менее 7 % является слишком низкой, а выше 9,0 % считается избыточной. Высокая пленчатость ячменного зерна ведет к снижению экстрактивности начального сусла, появлению горечи и резкому ухудшению других вкусо-ароматических показателей пенного напитка. Низкая пленчатость также оказывает отрицательное влияние на технологию производства, цвет и вкус готового пива. В то же время измельченная мякоть служит естественным фильтром, который удерживает выпадающий из сусла свернувшийся белок. В наших исследованиях пленчатость ячменного зерна не зависела от агротехнологии, находясь в пределах 7,9–8,8 % во все годы исследований.

Для формирования лучших технологических свойств зерно пивоваренного ячменя должно отлежаться и дозреть, поэтому способность к прорастанию и жизнеспособность мы определяли через 45 дней после уборки.

В пивоварении способность к прорастанию ячменного зерна определяют на 5-е сутки. Данный показатель свидетельствует об актив-

ности ферментативной системы каждой анализируемой зерновки. В ходе прорастания следят за интенсивностью и равномерностью развития корешков и самого проростка. Оптимальным считается тот проросток, длина которого не превышает размер проращиваемого зерна. Формирование большого числа удлинённых проростков и непроросших зерновок снижают качество получаемого солода. Проращивание необходимо для того, чтобы крахмал, содержащийся в зерновке, полностью превратился в сахар. Это впоследствии увеличивает экстрактивность сусла и выход пива, а главное, обогащает вкусо-ароматические свойства готового к употреблению пенного продукта.

Анализ способности к прорастанию зерен пивоваренного ячменя позволил выявить положительное влияние традиционной агротехнологии на данный показатель качества. Именно на этом варианте опыта было установлено максимальное (96,0 %) значение, которое на 3,0 и 5,0 % превосходило показатели, полученные по технологии mini-till и no-till соответственно.

Аналогичная закономерность была установлена нами и при определении количества

жизнеспособных пивоваренных ячменных зерен. Зерновки, которые были получены при использовании традиционной агротехнологии, отличались максимальной (98,0 %) жизнеспособностью, а минимальная (93,0 %) жизнеспособность была выявлена у зерновок при нулевой технологии возделывания.

Выводы. Максимальная (2,49 т/га) средняя урожайность пивоваренного ячменного зерна была получена при использовании mini-till, а минимальная (2,34 т/га) – при no-till. При традиционной агротехнологии значение данного показателя уступало максимальному на 0,03 т/га, но достоверно на 0,12 т/га превосходило минимальное значение. На серой лесной среднесуглинистой почве в погодных условиях Чувашской Республики технология mini-till способствует ежегодному получению стабильных урожаев ячменного пивоваренного зерна.

Наивысшими пивоваренными свойствами обладает ячменное зерно, которое полу-

чено с применением традиционной технологии возделывания. По массовой доле белка (11,4 %), концентрации мелких зерен (2,5 %), крупности партии (92,5 %), способности к прорастанию (96,0 %) и жизнеспособности (98,0 %) оно соответствует 1-му классу ГОСТ 5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия». Использование технологии mini-till позволяет производить ячменное пивоваренное зерно, которое по качественным показателям отвечает требованиям 2-го класса межгосударственного стандарта. Зерно ячменя 1-го и 2-го класса пригодно для выработки солода.

Применение технологии no-till по количеству мелких зерен (4,5 %), крупности партии (85,5 %) и способности к прорастанию (91,0 %) позволяет рассчитывать на получение пивоваренного зерна 3-го класса, которое в отличие от зерна 1-го и 2-го класса может использоваться в пивоварении только в виде несоложенного сырья.

Библиографические ссылки

1. Артюхова О. А., Гладышева О. В., Свирина В. А. Влияние элементов технологий возделывания на урожайность новых пивоваренных сортов ярового ячменя // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 2. С. 21–25. DOI: 10.30850/vrsn/2020/2/21-25
2. Волков А. И., Прохорова Л. Н., Селюнин В. В. Способ повышения урожайности ячменя при возделывании по no-till // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2022. Т. 8, № 1(29). С. 19–24. DOI: 10.30914/2411-9687-2022-8-1-19-24
3. Волков А. И., Прохорова Л. Н., Селюнин В. В. Изучение эффективности прямого посева зерновых культур в Чувашской Республике // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 89–93. DOI 10.31367/2079-8725-2023-84-1-89-93
4. ГОСТ 5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия». М.: Российский институт стандартизации, 2021. 12 с.
5. Еряшев А. П., Козлова А. А., Железнов А. С. Эффективность возделывания пивоваренного ячменя на разных фонах минерального питания и нормах высева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 40–45. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-40-45
6. Николаев П. Н., Юсова О. А., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Реализация биологической урожайности ячменя ярового в условиях южной лесостепи Омской области // Аграрный вестник Урала. 2020. № 12(203). С. 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34
7. Хлыстунов В. Ф., Донцова А. А., Донцов Д. П. Результаты оценки перспективных сортов и линий озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 60–67. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-60-67
8. Хрюкина Е. И., Гулидова В. А., Сергеев Г. Я. Пивоваренный ячмень: практическое руководство по выращиванию. Воронеж, 2019. 32 с.
9. Kumar V., Chaturvedi S. K., Singh G. P. Brief review of malting quality and frontier areas in barley // Cereal Research Communications. 2023. Vol. 51, № 1. P. 45–59. DOI: 10.1007/s42976-022-00292-z
10. Shirdelmoghanloo H., Chen K., Paynter B. H., Angessa T. T., Westcott S., Khan H. A., Li C. Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 858652. DOI: 10.3389/fpls.2022.858652
11. Volkov A. I., Prohorova L. N., Shabalin R. A. The prospects for no-till in the cultivation of corn for grain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. P. 52011. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052011

References

1. Artyukhova O. A., Gladysheva O. V., Svirina V. A. Vliyanie elementov tekhnologii vozdelvaniya na urozhainost' novykh pivovarennykh sortov yarovogo yachmenya [The effect of cultivation technology elements on productivity of new brewing spring barley varieties] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2020. № 2. S. 21–25. DOI: 10.30850/vrsn/2020/2/21-25
2. Volkov A. I., Prokhorova L. N., Selyunin V. V. Spособ povysheniya urozhainosti yachmenya pri vozdelivanii po no-till [A method for improving barley productivity under no-till cultivation] // Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki. 2022. T. 8, № 1(29). S. 19–24. DOI: 10.30914/2411-9687-2022-8-1-19-24
3. Volkov A. I., Prokhorova L. N., Selyunin V. V. Izuchenie effektivnosti pryamogo poseva zernovykh kul'tur v Chuvashskoi Respublike [Study of the efficiency of direct sowing of grain crops in the Chuvash Republic] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 1. S. 89–93. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-89-93

4. GOST 5060-2021 «Yachmen' pivovarennyi. Tekhnicheskie usloviya» [GOST 5060-2021 "Brewing barley. Technical conditions"]. M.: Rossiiskii institut standartizatsii, 2021. 12 s.
5. Eryashev A.P., Kozlova A.A., Zheleznov A.S. Effektivnost' vzdelyvaniya pivovarennogo yachmenya na raznykh fonakh mineral'nogo pitaniya i normakh vyseva [Efficiency of brewing barley cultivation on different backgrounds of mineral nutrition and seeding rates] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2021. № 1(53). S. 40–45. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-40-45
6. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Realizatsiya biologicheskoi urozhainosti yachmenya yarovogo v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Omskoi oblasti [Realization of biological productivity of spring barley in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk region] // Agrarnyi vestnik Urala. 2020. № 12(203). S. 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34
7. Khlystunov V.F., Dontsova A.A., Dontsov D.P. Rezul'taty otsenki perspektivnykh sortov i liniy ozimogo yachmenya [Estimation results of promising winter barley varieties and lines] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 3. S. 60–67. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-60-67
8. Khryukina E.I., Gulidova V.A., Sergeev G. Ya. Pivovarennyi yachmen': prakticheskoe rukovodstvo po vyrashchivaniyu [Brewing barley: a practical guide to growing]. Voronezh, 2019. 32 s.
9. Kumar V., Chaturvedi S.K., Singh G.P. Brief review of malting quality and frontier areas in barley // Cereal Research Communications. 2023. Vol. 51, № 1. P. 45–59. DOI: 10.1007/s42976-022-00292-z
10. Shirdelmoghanloo H., Chen K., Paynter B.H., Angessa T.T., Westcott S., Khan H.A., Li C. Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 858652. DOI: 10.3389/fpls.2022.858652
11. Volkov A.I., Prohorova L.N., Shabalin R.A. The prospects for no-till in the cultivation of corn for grain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. P. 52011. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052011

Поступила: 05.08.24; доработана после рецензирования: 10.09.24; принята к публикации: 11.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Волков А. И. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Прохорова Л. Н. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Иванов Д. А. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ПОСЕВЕ ПО ПРЕДШЕСТВЕННИКУ ПОДСОЛНЕЧНИК С РАЗНЫМИ НОРМАМИ ВЫСЕВА

А. А. Сухарев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;

Г. В. Овсянникова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, ORCID ID: 0000-0002-6667-2032;

И. К. Копман, агроном лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, ORCID ID: 0009-0000-6086-1441

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347730, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Исследования проводили в южной зоне Ростовской области в агротехническом севообороте лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2023 сельскохозяйственные годы. Цель исследований – определить влияние норм высева на урожайность различных сортов озимого ячменя по предшественнику подсолнечник. Проведенные исследования позволили выявить реакцию сортов озимого ячменя на разные нормы высева. Сорт озимого ячменя Маруся в среднем за годы исследований формировал максимальную урожайность зерна – 6,43 т/га при посеве с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих зерен на 1 га). Для сортов Виват и Фокс 1 оптимальной нормой высева был посев с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян на 1 га, а полученная урожайность составила 6,31 и 5,81 т/га соответственно. Реакция исследуемых сортов озимого ячменя на нормы высева была различной по годам, но влияние данного фактора было невысоким – 4,6–10,5 %. Достоверные различия в опыте были получены только у сорта Виват на всех вариантах норм высева. Урожайность озимого ячменя определялась выбором сорта, а влияние этого фактора колебалось от 32,5 до 78,1 %. Определено, что при посеве с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих зерен на 1 га) у всех сортов озимого ячменя в опыте были наибольшими количество зерен в колосе и масса зерна с колоса – 36,3–43,2 г и 1,62–2,10 г соответственно. Установлено, что в варианте с данной нормой высева сорта формировали выполненное крупное зерно (натура – 637–660 г/л) с массой 1000 зерен в интервале 42,1–43,8 г и содержанием белка в зерне от 10,8 до 11,3 %. Выявлена экономическая эффективность возделывания сортов Виват, Маруся и Фокс 1 при посеве их с наименьшей нормой высева – 3 млн шт. всхожих зерен на 1 га. При низкой себестоимости произведенного зерна (5405–6136 руб./т) в этом варианте опыта у сортов были получены максимальный условный чистый доход (34378–45499 руб./га) и рентабельность производства (108–147 %).

Ключевые слова: озимый ячмень, сорт, норма высева, урожайность, качество зерна, экономическая эффективность.

Для цитирования: Сухарев А. А., Овсянникова Г. В., Копман И. К. Урожайность озимого ячменя в южной зоне Ростовской области при посеве по предшественнику подсолнечник с разными нормами высева // Зерновое хозяйство России. 2024. № 5. С. 101–107. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-101-107.



WINTER BARLEY PRODUCTIVITY IN THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION WHEN SOWING SUNFLOWER AS A FORECROP WITH DIFFERENT SEEDING RATES

A. A. Sukharev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;

G. V. Ovsyannikova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, ORCID ID: 0000-0002-6667-2032;

I. K. Kopman, agronomist of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, ORCID ID: 0009-0000-6086-1441

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The current study was conducted in the southern part of the Rostov region in the agrotechnical crop rotation of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops of the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy” in 2021–2023. The purpose of the study was to determine the effect of seeding rates on productivity of various winter barley varieties sown after sunflower. The conducted study allowed identifying the response of winter barley varieties to different seeding rates. The winter barley variety ‘Marusya’ on average over the years of research formed the mean maximum grain productivity of 6.43 t/ha when sowing with the lowest seeding rate (3 million pcs. of germ. grains per 1 ha). For the varieties ‘Vivat’ and ‘Foks 1’, the optimal seeding rate was 4 million pcs. of germ. seeds per 1 ha, and the obtained productivity was 6.31 and 5.81 t/ha, respectively. The response of the studied winter barley varieties to seeding rates was different through the years, but the effect of this factor was 4.6–10.5 %. Reliable differences

in the experiment were obtained only for the variety 'Vivat' for all seeding rates. The winter barley productivity was determined by the choice of a variety, and the effect of this factor ranged from 32.5 to 78.1 %. There was determined that when sowing with the lowest seeding rate (3 million pcs. of germ. grains per 1 ha), all winter barley varieties in the trial had the largest number of grains per ear and grain weight per ear with 36.3–43.2 g and 1.62–2.10 g, respectively. There was established that in the variant with this seeding rate, the varieties formed a heavy, large-size grain (nature weight of 637–660 g/l) with '1000-grain weight' of 42.1–43.8 g and 10.8 to 11.3 % of protein in grain. There has been established an economic efficiency of cultivating the varieties 'Vivat', 'Marusya' and 'Foks 1' when sowing them with the lowest seeding rate of 3 million pcs. of germ. grains per 1 ha. With a low cost price of produced grain (5405–6136 rubles/t), in this variant of trial, the varieties obtained the maximum conditional net income (34378–45499 rubles/ha) and production profitability (108–147%).

Keywords: winter barley, variety, seeding rate, productivity, grain quality, economic efficiency.

Введение. Ячмень считается четвертой по значимости зерновой культурой в мире. Именно ячменю отводится первостепенная роль в решении проблемы обеспечения кормами отраслей животноводства, а в некоторых регионах нашей планеты даже продовольствия людей (Csajbók et al., 2022), (Филиппов и др., 2021). Некоторые ученые считают крайне важными исследования оптимальной нормы высева для всех сортов ячменя, считая ее определяющей в повышении урожайности и качества продукции (Senait et al., 2020; Gezahegn et al., 2022). Подтверждают это мнение исследования многих авторов в различных природно-климатических зонах. Например, С. Habiyaemye и et al. отмечает, что повышение нормы высева с 250 до 375 шт./м² способствовало повышению урожайности у всех исследуемых сортов во все годы исследований (Habiyaemye et al., 2021). Исследования Senait B. показали, что повышение нормы высева до 150 кг/га значительно повышало урожайность ячменя при удовлетворительном качестве полученной продукции (Senait et al., 2020). Однако другие исследователи указывают, что увеличение нормы высева лишь незначительно повышало урожайность ячменя (Fadel et al., 2021; Abhinaw et al., 2020). Такая разница в полученных данных может указывать на сортовые особенности ячменя, выращиваемого в различных условиях. Это предположение подтверждает исследование G. Preiti et al., который указывает на тот факт, что новые сорта и гибриды ячменя изначально обладают повышенной способностью к кущению и высокой продуктивностью, и в связи с этим рекомендует снижать норму высева на 25 % (Preiti et al., 2021). На выбор нормы высева влияют и почвенно-климатические условия. Исследованиями В.М. Дериглазовой и др. (2023), проводимыми в Курской области, подтверждена оптимальная норма высева ячменя на уровне 5 млн шт./га, а в полусухих условиях Воронежской области Т.Г. Голова и Л.А. Ершова (2021) рекомендуют норму высева не выше 4 млн шт./га чистых и всхожих семян.

Анализ литературных источников выявил интерес к исследованию норм высева ячменя во многих странах, тема исследований является важной и актуальной. Для увеличения урожайности и валовых сборов зерна ячменя необходимо совершенствование технологий его возделывания с учетом сортовых особенностей. Цель исследований – определить влияние норм высева на урожайность различных сортов озимого ячменя по предшественнику подсолнечник.

Материалы и методы исследований. В исследования были включены 3 сорта озимого ячменя: Виват, Маруся и Фокс 1. Эти сорта высевали по предшественнику подсолнечник с нормами высева 3, 4, 5 и 6 млн шт. всхожих семян на 1 га. Срок посева – последняя декада сентября. Опыты проводили в 2021, 2022 и 2023 сельскохозяйственных годах.

Посев производили сеялкой СС-11 «Альфа», уборку – прямым способом комбайном «Сампо 2010». Площадь делянки 55 м², повторность четырехкратная. Все мероприятия по обработке почвы и уходу за посевами соответствовали общепринятым рекомендациям – «Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013–2020 годы».

Среднесуточная температура воздуха за 2021–2023 сельскохозяйственные годы была в интервале 11,4–11,7 °С, что превышало на 1,8–2,1 °С среднееголетние показатели. Сумма осадков за этот период составила: 2021 г. – 569,2 мм; 2022 г. – 528,3 мм и 2023 г. – 572,3 мм (норма – 582,4 мм, среднееголетнее за 45 лет, 1958–2002 гг.). В течение вегетации озимого ячменя отмечалось неравномерное выпадение осадков.

Результаты и их обсуждение. При проведении исследований сорта озимого ячменя сформировали наибольшую урожайность по всем нормам высева в 2022 г. (табл. 1). Наименьшая урожайность сортов Виват и Маруся была получена в 2023 году.

Таблица 1. Урожайность сортов озимого ячменя в зависимости от норм высева по предшественнику подсолнечник, т/га (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 1. Productivity of winter barley varieties when sown after sunflower according to seeding rates, t/ha (mean in 2021–2023)

Норма высева, шт. всхожих семян/га (фактор В)	Сорт (фактор А)		
	Виват	Маруся	Фокс 1
3 млн	6,27	6,43	5,70
4 млн	6,31	6,25	5,81

Продолжение табл. 1

Норма высева, шт. всхожих семян/га (фактор В)	Сорт (фактор А)		
	Виват	Маруся	Фокс 1
5 млн	6,29	6,34	5,69
6 млн	5,93	6,19	5,76
НСР ₀₅ , т/га	0,26 (0,25–0,27)		
Влияние фактора А, %	59,5 (32,5–78,1)		
Влияние фактора В, %	7,8 (4,6–10,5)		
Взаимодействие АВ, %	11,6 (1,5–17,7)		

Реакция исследуемых сортов озимого ячменя на нормы высева по годам была различной, но в среднем за 3 года исследований для сорта озимого ячменя Виват оптимальным был посев с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян на 1 га, когда урожайность составила 6,31 т/га. При посеве с нормой высева 3 и 5 млн шт. всхожих семян на 1 га урожайность у сорта была близкой к данному значению – 6,27 и 6,29 т/га соответственно. Наименьшую урожайность – 5,93 т/га в среднем за 3 года исследований сорт озимого ячменя Виват формировал в варианте с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га.

Для сорта озимого ячменя Маруся посев с нормой высева 3 млн шт. всхожих семян на 1 га в среднем за 2021–2023 гг. был оптимальным. В этом варианте урожайность составила 6,43 т/га и была наибольшей в опыте. При увеличении нормы высева до 4–6 млн шт. всхожих семян на 1 га отмечалось снижение урожайности до 6,19–6,34 т/га.

Урожайность сорта озимого ячменя Фокс 1 в среднем за три года была наибольшей в варианте с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян на 1 га и составила 5,81 т/га. В варианте, где норма высева составляла 6 млн шт. всхожих семян на 1 га, этот сорт формировал урожайность 5,76 т/га. При посеве с нормой высева

3 и 5 млн шт. всхожих семян на 1 га полученная урожайность была практически на одном уровне – 5,70 и 5,69 т/га соответственно.

Реакция исследуемых сортов озимого ячменя на нормы высева была различной по годам, но влияние данного фактора (В) было невысоким – 4,6–10,5 %. Достоверные различия в опыте были получены только у сорта Виват на всех вариантах норм высева.

Таким образом, при НСР по годам в интервале 0,25–0,27 т/га урожайность озимого ячменя определялась выбором сорта. Влияние этого фактора (А) колебалось от 32,5 до 78,1 %.

Взаимодействие фактора А (сорт) с фактором В (норма высева) было в интервале от 1,5 до 17,7 %.

Анализ структуры урожая показал, что у всех исследуемых сортов озимого ячменя наименьшая высота растений – 90,1–93,5 см отмечалась в вариантах с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих семян на 1 га). При увеличении нормы высева до 4, 5 и 6 млн шт. всхожих семян на 1 га наблюдалось увеличение высоты растений. У сортов Виват, Маруся и Фокс 1 в среднем за 2021–2023 гг. наибольшим этот показатель был в варианте с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га – 97,4; 101,7 и 104,2 см соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Показатели структуры урожайности сортов озимого ячменя в зависимости от норм высева по предшественнику подсолнечник (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 2. Indicators of the yield structure of winter barley varieties when sown after sunflower according to seeding rates (mean in 2021–2023)

Норма высева, шт. всхожих семян/га	Высота растений, см	Длина колоса, см	Количество		Масса зерна с колоса, г
			продуктивных стеблей, шт./м²	зерен в колосе, шт.	
Виват					
3 млн	90,1	3,5	384	37,7	1,71
4 млн	92,6	3,3	412	35,8	1,59
5 млн	95,8	3,1	462	33,2	1,42
6 млн	97,4	3,1	467	32,6	1,29
Маруся					
3 млн	93,5	3,8	383	43,2	2,10
4 млн	98,1	3,7	395	41,9	2,02
5 млн	99,3	3,6	408	40,8	1,94
6 млн	101,7	3,4	439	38,0	1,76
Фокс 1					
3 млн	92,7	3,6	360	36,3	1,62
4 млн	96,3	3,5	420	34,0	1,45
5 млн	98,8	3,4	413	33,8	1,43
6 млн	104,2	3,1	420	33,7	1,43

По вариантам норм высева длина колоса исследуемых сортов изменялась противоположно высоте растений. Наибольшую длину колоса сорта Виват, Маруся и Фокс 1 имели в варианте с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих семян на 1 га) – 3,5; 3,8 и 3,6 см соответственно. Наименьшая длина колоса – 3,1–3,4 см у сортов наблюдалась в варианте с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га.

Количество продуктивных стеблей и зерен в колосе, масса зерна с колоса являются основными составляющими структуры урожая, определяющими его уровень.

За годы проведения опытов (среднее за 2021–2023 гг.) все изучаемые сорта озимого ячменя формировали наибольшее количество продуктивных стеблей в варианте с наибольшей нормой высева – 6 млн шт. всхожих семян на 1 га. С уменьшением нормы высева уменьшалось и количество продуктивных стеблей. Количество зерен в колосе и масса зерна с колоса изменялись по вариантам норм высева противоположно количеству продуктивных стеблей.

Сорт Виват формировал наибольшее количество продуктивных стеблей – 467 шт./м² в посевах с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га. В варианте с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих семян на 1 га) у данного сорта отмечены наибольшее количество зерен в колосе и их масса – 37,7 шт. и 1,71 г соответственно.

Сорт озимого ячменя Маруся формировал наибольшее количество продуктивных стеблей – 439 шт./м² в среднем за три года (2021–2023 гг.) при посеве с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га. В варианте, где норма высева этого сорта составляла 3 млн шт. всхожих семян на 1 га, были максимальными в опыте количество зерен в колосе и их масса – 43,2 и 2,10 г/га соответственно.

У сорта озимого ячменя Фокс 1 динамика показателей структуры урожая была аналогичной сортам Виват и Маруся, но они были меньшими по величине. Наибольшее количество продуктивных стеблей у сорта Фокс 1 – 420 шт./м² было также в варианте с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га, но меньше, чем у сортов Виват и Маруся на 47 и 19 шт./м² соответственно. Наименьшее количество продуктивных стеблей в опыте – 360 шт./м² отмечалось при посеве с нормой высева 3 млн шт. всхожих семян на 1 га. В этом варианте нормы высева у сорта Фокс 1 количество зерен в колосе и их масса были также наименьшими в опыте – 36,3 шт. и 1,62 г соответственно.

Все исследуемые сорта озимого ячменя в среднем за годы проведения опытов формировали зерно с хорошим качеством. У сорта озимого ячменя Виват в варианте с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих семян на 1 га) зерно имело наибольшую массу – 660 г/л (табл. 3).

Таблица 3. Качественные показатели сортов озимого ячменя в зависимости от норм высева по предшественнику подсолнечник (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 3. Qualitative indicators of winter barley varieties when sown after sunflower according to seeding rates (mean in 2021–2023)

Норма высева, шт. всхожих семян/га	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г	Содержание белка в зерне, %
Виват			
3 млн	660	43,3	11,3
4 млн	647	42,9	11,1
5 млн	636	42,5	11,1
6 млн	630	42,1	11,1
Маруся			
3 млн	641	43,8	10,8
4 млн	638	43,8	10,7
5 млн	636	42,6	10,5
6 млн	626	41,7	10,5
Фокс 1			
3 млн	637	42,1	10,8
4 млн	629	42,0	10,9
5 млн	627	41,2	10,8
6 млн	624	40,1	10,7

При посеве с этой нормой высева у сортов Маруся и Фокс 1 натура зерна была меньше – 641 и 637 г/л соответственно. С увеличением нормы высева до 4, 5 и 6 млн шт. всхожих семян на 1 га натура зерна у сортов уменьшалась до 630–624 г/л.

В вариантах с нормами высева аналогично натуре зерна у сортов озимого ячменя изменялись и такие показатели, как масса 1000 зерен и содержание белка в зерне. При посе-

ве с нормой высева 3 млн шт. всхожих семян на 1 га сорта формировали крупное выполненное зерно с массой 1000 зерен в интервале 42,1–43,8 г.

С увеличением нормы высева до 4, 5 и 6 млн шт. всхожих семян на 1 га у всех сортов масса 1000 зерен снижалась до 40,1–42,1 г.

В зависимости от нормы высева у сорта озимого ячменя Виват содержание белка в зерне было в интервале 11,1–11,3 %. Данный по-

казатель качества зерна был ниже у сортов Маруся и Фокс 1 – 10,5–10,8 и 10,7–10,9 % соответственно.

Оценка экономической эффективности исследуемых сортов озимого ячменя в среднем за 2021–2023 гг. представлена в таблице 4.

Таблица 4. Экономическая эффективность сортов озимого ячменя в зависимости от норм высева по предшественнику подсолнечник (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 4. Economic efficiency of winter barley varieties when sown after sunflower according to seeding rates (mean in 2021–2023)

Норма высева, шт. всхожих семян/га	Урожайность, т/га	Затраты, руб./га	Валовой доход, руб./га	Условный чистый доход, руб./га	Себестоимость, руб./т	Рентабельность, %
Виват						
3 млн	6,27	33319	75956	42637	5405	136
4 млн	6,31	34543	76612	42069	5609	130
5 млн	6,29	35768	76181	40412	5841	121
6 млн	5,93	36993	71749	34756	6476	101
Маруся						
3 млн	6,43	33319	78817	45499	5705	147
4 млн	6,25	34543	76074	41530	6025	129
5 млн	6,34	35768	76846	41078	6013	123
6 млн	6,19	36993	74446	37453	6330	108
Фокс 1						
3 млн	5,70	33319	67696	34378	6136	108
4 млн	5,81	34543	69171	34628	6222	105
5 млн	5,69	35768	68014	32246	6664	95
6 млн	5,76	36993	69003	32010	6821	92

В зависимости от нормы высева изменялись расходы на семена. Это повлияло на увеличение производственных затрат от 33 319 руб./га при посеве с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих семян на 1 га) до 36 993 руб./га в варианте с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га. Урожайность и цена реализации зерна определяли уровень полученного валового дохода по вариантам с разными нормами высева. Максимальный валовой доход (78 817 руб./га) был получен у сорта Маруся при посеве его с наименьшей нормой высева – 3 млн шт. всхожих семян на 1 га. Минимальный валовой доход у этого сорта – 74 446 руб./га отмечен в варианте с нормой высева 6 млн шт. всхожих семян на 1 га. У сортов Виват и Фокс 1 наибольший валовой доход был получен при посеве их с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян на 1 га – 76 612 и 69 171 руб./га соответственно. При увеличении или уменьшении данной нормы высева у сортов Виват и Фокс 1 наблюдалось снижение валового дохода.

Высокие показатели экономической эффективности озимого ячменя были получены в варианте с наименьшей нормой высева – 3 млн шт. всхожих семян на 1 га. У сорта Маруся в этом варианте опыта при низкой себестоимости зерна (5705 руб./т) были получены максимальный условный чистый доход и рентабельность производства – 45 499 руб./га и 147 % соответственно.

В таком же варианте нормы высева у сорта Виват отмечена наименьшая себестоимость произведенного зерна в опыте – 5405 руб./т, а условный чистый доход и рентабельность производства при этом составили 42 637 руб./га и 136 % соответственно.

У сорта Фокс 1 при посеве с нормой высева 3 млн шт. всхожих семян на 1 га рентабельность производства зерна составила 108 %, что ниже, чем у сортов Виват и Маруся на 28 и 39 % соответственно. Также ниже данных сортов по вариантам разных норм высева у сорта Фокс 1 был полученный условный чистый доход и рентабельность производства – 32 010–34 628 руб./га и 92–105 % соответственно. При этом себестоимость произведенного зерна была выше – 6222–6664 руб./т.

Выводы. Полученные результаты проведенных исследований позволили выявить реакцию сортов озимого ячменя на разные нормы высева в южной зоне Ростовской области. Сорт озимого ячменя Маруся в среднем за годы исследований формировал максимальную урожайность зерна – 6,43 т/га при посеве с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих зерен на 1 га). Для сортов Виват и Фокс 1 оптимальной нормой высева был посев с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян на 1 га, а полученная урожайность составила 6,31 и 5,81 т/га соответственно. Реакция исследуемых сортов озимого ячменя на нормы высева была различной по годам, но влияние данного фактора было невысоким – 4,6–10,5 %. Достоверные различия в опыте были получены только у сорта Виват на всех вариантах норм высева. Урожайность озимого ячменя определялась выбором сорта, а влияние этого фактора колебалось от 32,5 до 78,1 %. При посеве с наименьшей нормой высева (3 млн шт. всхожих зерен на 1 га) у всех сортов озимого ячменя в опыте были наибольшими количество зерен в колосе и масса зерна с колоса – 36,3–43,2 г и 1,62–2,10 г соответственно. В варианте с данной нормой высева сорта формировали выполненное крупное зерно (нату-

ра – 637–660 г/л) с массой 1000 зерен в интервале 42,1–43,8 г и содержанием белка в зерне от 10,8 до 11,3 %. Экономически эффективным было возделывание сортов Виват, Маруся и Фокс 1 при посеве их с наименьшей нормой высева – 3 млн шт. всхожих зерен на 1 га.

При низкой себестоимости произведенного зерна (5405–6136 руб./т) в этом варианте опыта у сортов были получены максимальный условный чистый доход (34 378–45 499 руб./га) и рентабельность производства (108–147 %).

Библиографические ссылки

1. Дериглазова Г.М., Лазарев В.И., Минченко Ж.Н. Эффективность основных приемов и способов возделывания ярового ячменя в условиях ЦЧР // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 7. С. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_34
2. Голова Т.Г., Ершова Л.А. Продуктивность сортов ячменя в различных вариантах посева // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2 (38). С. 123–128. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-123-128
3. Филиппов Е.Г., Брагин Р.Н., Донцова А.А., Донцов Д.П. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3 (27). С. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179
4. Abhinaw K.S., Bikram S., Amarjeet P. Influence of sowing times, seed rates and row spacings on physiological studies of barley (*Hordeum vulgare* L.) // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2020. Vol. 9(2), P. 510–513. DOI: 10.22271/phyto
5. Csajbók J., Pepó P., Kutasy E. Photosynthetic and Agronomic Traits of Winter Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties // Agronomy. 2020. Vol. 10(12), Article number: 1999. DOI: 10.3390/agronomy10121999
6. Gezahegn B., Tadesse A., Tadesse A. Effects of seed rate and inter row spacing on yield and yield components of food barley in Semen Ari Woreda, Ethiopia // International Journal of Agricultural Research Innovation and Technology. 2022. Vol. 12(1), P. 34–38. DOI: 10.3329/ijarit.v12i1.61029
7. Habiyaemye C., Schroeder K.L., Reganold J.P., White D., Packer D., Murphy K.M. Effect of Nitrogen and Seeding Rate on β -Glucan, Protein, and Grain Yield of Naked Food Barley in No-Till Cropping Systems in the Palouse Region of the Pacific Northwest // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. Vol. 5, Article number: 663445. DOI: 10.3389/fsufs.2021.663445
8. Preiti G., Calvi A., Romeo M., Badagliacca G., Bacchi M. Seeding Density and Nitrogen Fertilization Effects on Agronomic Responses of Some Hybrid Barley Lines in a Mediterranean Environment // Agronomy. 2021. Vol. 11(10), Article number: 1942. DOI: 10.3390/agronomy11101942
9. Senait B., Tarekegn Y., Tewodros A. Growth, Protein Content, Yield and Yield Components of Malt Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties in Response to Seeding Rate at Sinana District, Southeast Ethiopia // International Journal of Applied Agricultural Sciences. 2020. Vol. 6, № 4. P. 61–71. DOI: 10.11648/j.ijaas.20200604.12
10. Fadel A., Abdulhamed Z., Yousif S. Genetic Indicators of Barley Cultivars by the Effect of Seeding Rate // Iraqi Journal of Desert Studies. 2022. Vol. 12(2), P. 101–110. DOI: 10.36531/ijds.2022.1766

References

1. Deriglazova G.M., Lazarev V.I., Minchenko Zh. N. Effektivnost' osnovnykh priemov i sposobov vozdel'yvaniya yarovogo yachmenya v usloviyakh TsChR [Efficiency of the main cultivation methods and techniques of spring barley in the Central Blackearth Region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 7. S. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_34
2. Golova T.G., Ershova L.A. Produktivnost' sortov yachmenya v razlichnykh variantakh poseva [Productivity of barley varieties in different sowing options] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 2 (38). S. 123–128. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-123-128
3. Filippov E.G., Bragin R.N., Dontsova A.A., Dontsov D.P. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sortov yarovogo yachmenya [Estimation of ecological adaptability and stability of spring barley varieties] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2021. № 3(27). S. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179
4. Abhinaw K.S., Bikram S., Amarjeet P. Influence of sowing times, seed rates and row spacings on physiological studies of barley (*Hordeum vulgare* L.) // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2020. Vol. 9(2). P. 510–513. DOI: 10.22271/phyto
5. Csajbók J., Pepó P., Kutasy E. Photosynthetic and Agronomic Traits of Winter Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties // Agronomy. 2020. Vol. 10(12), Article number: 1999. DOI: 10.3390/agronomy10121999
6. Gezahegn B., Tadesse A., Tadesse A. Effects of seed rate and inter row spacing on yield and yield components of food barley in Semen Ari Woreda, Ethiopia // International Journal of Agricultural Research Innovation and Technology. 2022. Vol. 12(1), P. 34–38. DOI: 10.3329/ijarit.v12i1.61029
7. Habiyaemye C., Schroeder K.L., Reganold J.P., White D., Packer D., Murphy K.M. Effect of Nitrogen and Seeding Rate on β -Glucan, Protein, and Grain Yield of Naked Food Barley in No-Till Cropping Systems in the Palouse Region of the Pacific Northwest // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. Vol. 5, Article number: 663445. DOI: 10.3389/fsufs.2021.663445
8. Preiti G., Calvi A., Romeo M., Badagliacca G., Bacchi M. Seeding Density and Nitrogen Fertilization Effects on Agronomic Responses of Some Hybrid Barley Lines in a Mediterranean Environment // Agronomy. 2021. Vol. 11(10), Article number: 1942. DOI: 10.3390/agronomy11101942
9. Senait B., Tarekegn Y., Tewodros A. Growth, Protein Content, Yield and Yield Components of Malt Barley (*Hordeum vulgare* L.) Varieties in Response to Seeding Rate at Sinana District, Southeast Ethiopia // International Journal of Applied Agricultural Sciences. 2020. Vol. 6, № 4. P. 61–71. DOI: 10.11648/j.ijaas.20200604.12

10. Fadel A., Abdulhamed Z., Yousif S. Genetic Indicators of Barley Cultivars by the Effect of Seeding Rate // Iraqi Journal of Desert Studies. 2022. Vol. 12(2), P. 101–110. DOI: 10.36531/ijds.2022.1766

Поступила: 12.07.24; доработана после рецензирования: 11.09.24; принята к публикации: 11.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Овсянникова Г. В. – анализ данных и их интерпретация, анализ литературных источников, финальная доработка текста; Сухарев А. А. – выполнение полевых опытов, анализ литературных источников, финальное оформление статьи; Копман И. К. – выполнение полевых опытов, сбор данных;

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.161:632.484.11 (470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-108-112

ОЦЕНКА ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПЫЛЬНОЙ ГОЛОВНЕ

Е. С. Дорошенко, младший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, katyalevchenko1@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-6015-5616;

Н. В. Шишкин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений; ORCID ID: 0000-0003-3863-0297

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

3447740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Для получения качественных семян и высоких урожаев сельскохозяйственных культур важно сохранить посевы до момента уборки. Заболевания колоса вредят наибольшим образом, поражая наиболее ценную часть растений. Исследуемый возбудитель пыльной головни – *Ustilago nuda* (C. N. Jensen) Rostr. уничтожает колос полностью, оставляя лишь пылящую массу черного цвета. Культура озимый ячмень востребована в производстве на всей территории страны, особенно в южных регионах. Селекция сортов на устойчивость к данному патогену актуальна и в настоящее время. В статье представлены результаты иммунологической характеристики сортов озимого ячменя, проходящих конкурсное и межстанционное сортоиспытание. Целью исследования являлось выявление стабильно устойчивых и резистентных к исследуемому патогену сортов озимого ячменя. Исследование проводили в период 2021–2023 гг. на инфекционном участке ФГБНУ «АНЦ «Донской» с использованием принудительного заражения в период цветения. Отмечены сорта и линии селекции Центра, проявившие высокую и практическую устойчивость к патогену. Максимальное количество (102 образца) выявлено в условиях 2021 г., в 2022 г. – 78 образцов и в 2021 г. – только 71 образец. В исследуемом материале не отмечено высоко восприимчивых образцов. Максимальное поражение составляло 34,9 % у сорта Caprice в условиях засушливого 2022 года. Дана характеристика сортам, проявившим высокую устойчивость за все годы исследования: Тимофей, Степ, Маруся, Квант, Фокс 1, Мастер, Самсон, Спринтер, Достойный, Эспада, Онега. Также отмечены линии селекции Центра, проявившие высокую устойчивость к патогену: Параллелум 2019, Нутанс 2137, Параллелум 2149, Параллелум 2136, Параллелум 2110, Параллелум 2131.

Ключевые слова: озимый ячмень, устойчивость, толерантность, патоген, пыльная головня.

Для цитирования: Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Оценка озимого ячменя на устойчивость к пыльной головне // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 108–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-108-112.



ESTIMATION OF WINTER BARLEY FOR LOOSE SMUT RESISTANCE

E. S. Doroshenko, junior researcher of the laboratory for plant immunity and protection, katyalevchenko1@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-6015-5616;

N. V. Shishkin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection; ORCID ID: 0000-0003-3863-0297

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

In order to obtain high-quality seeds and high yields of agricultural crops, it is important to preserve crops until harvesting. Ear diseases cause the greatest harm, affecting the most valuable part of the plant. The studied causative agent of loose smut *Ustilago nuda* (C. N. Jensen) Rostr. destroys the ear completely, leaving only a black dusty mass. Winter barley is of great demand in production throughout the country, especially in the southern regions. Breeding varieties for resistance to this pathogen is still relevant today. The current paper has presented the results of the immunological characteristics of winter barley varieties undergoing competitive and inter-station variety testing. The purpose of the study was to identify winter barley varieties that were stably tolerant and resistant to the pathogen. The study was conducted at the infection plot of the FSBSI "ARC "Donskoy" in the period 2021–2023 using forced infection during the flowering period. There have been identified the varieties and lines of the ARC that demonstrated high and practical resistance to the pathogen. There has been identified a maximum number (102 samples) under the conditions of 2023, 78 samples under the conditions of 2022, and only 71 under the conditions of 2021. There were no highly susceptible samples in the studied material. The maximum damage was 34.9 % for the variety 'Caprice' under the arid conditions of 2022. There has been given characteristics of the varieties that have shown high resistance over all the years of the study, such as 'Timofey', 'Step', 'Marusya', 'Kvant', 'Foks 1', 'Master', 'Samson', 'Sprinter', 'Dostoyny', 'Espada', 'Onega'. There has been noted that the breeding lines of the ARC 'Parallelum 2019', 'Nutans 2137', 'Parallelum 2149', 'Parallelum 2136', 'Parallelum 2110', 'Parallelum 2131' have shown high resistance to the pathogen.

Keywords: winter barley, resistance, tolerance, pathogen, loose smut.

Введение. В структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур Ростовской области ячмень неизменно занимает второе

место после озимой пшеницы. Он является основной зернофуражной культурой региона. Особенность озимого ячменя как культу-

ры – это большой потенциал продуктивности. Использование зимне-весеннего запаса влаги и экономное ее расходование для формирования урожайности позволяет превзойти яровой ячмень по рентабельности (Doroshenko et al., 2021).

На территории Ростовской области последние годы проявляется потепление климата. Это позволяет значительно расширить географию посевов сортов местной селекции. Так, если еще 30–40 лет назад озимый ячмень возделывали в основном на юге страны, то сейчас сорта вносятся в Госреестр по шестому, седьмому и восьмому регионам РФ (Северо-Кавказский, Средневолжский и Нижневолжский) (Филиппов и др., 2021).

Значительный вред стеблестую, а соответственно, и урожаю, наносят болезни и вредители сельскохозяйственных культур. От некоторых вредных организмов можно потерять 25–30 % урожая, а от пыльной головки ежегодные потери составляют порядка 10–15 %. Заражение посевного материала данным патогеном происходит на полях в период цветения. Заболевание имеет высокую вредоносность уже при низком начальном уровне зараженности семян. Экономические потери, вызванные пыльной головней при уровне заражения 1–2 %, приводят к снижению прибыли на 5–20 %. Вред, причиненный растению, отображается не только в прямых потерях урожая, но и в значительном снижении качества полученных семян. За счет летучести спор патоген получил очень широкое географическое распространение (Левитин и др., 2019). Ни зараженные семена, ни развивающиеся растения не проявляют каких-либо явных или однозначных макроскопических симптомов. Пыльную головню легко распознать только при появлении колоса, поскольку колос или его часть замещаются массой черных спор гриба.

Для ограничения численности и вредоносности распространенных вредных организмов разработан комплекс агротехнических приемов и используется широкая линейка химических средств защиты (Семенова и др., 2021). Однако использование генетически устойчивых и толерантных сортов является наиболее безопасным, экологическим и экономически выгодным методом.

С одной стороны, этот метод является основой интегрированных систем защиты растений, а с другой – использование устойчивых сортов позволяет прогнозировать потери от вредных

объектов и определять потребность в проведении защитных мероприятий, снижать кратность химических обработок и норму расхода препаратов, изменять сроки обработки посевов (Мешкова и др., 2020).

Адресность является основой современной стратегии селекции сельскохозяйственных культур. Необходимо создавать системы сортов, дифференцированных как климатически, так и экологически, которые будут хорошо адаптированы к условиям конкретного региона (Shishkin et al., 2021; Дорошенко и Шишкин, 2022).

Исходя из этого, анализ первичного материала для селекции должен быть полным и разносторонним, а осуществлять его необходимо в условиях региона планируемого районирования, в том числе фитосанитарных. Только так можно будет оценить взаимодействие всех факторов, влияющих на получение качественного и высокого урожая (Косолапов и др., 2021; Дорошенко и Шишкин, 2021).

Целью работы являлось выявление среди изучаемых сотов и линий озимого ячменя высоко и практически устойчивых образцов для дальнейшей селекционной работы.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в период 2021–2023 гг. на инфекционном стационарном участке лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ АНЦ «Донской».

Объект исследования – сорта и линии, проходящие межстанционное и конкурсное сортоиспытания. Всего за эти годы было оценено 379 образцов исследуемых сортообразцов. Предметом исследования являлся возбудитель пыльной головки ячменя (*Ustilago nuda* (C.N. Jensen) Rostr.). В качестве восприимчивого тест-сорта взят сорт Паллидум 1679.

Возбудитель данного заболевания развивается по двухлетнему циклу. В первый год в фазу цветения проводили инокуляцию исследуемых образцов споровой популяцией патогена вакуум-прибором. Инфекционная нагрузка – 2 г спор на 1 л воды. Сбор этикированных зараженных колосьев проводили в фазу полной спелости. Инфицированные семена высевали осенью на фитопатологическом участке. Подсчет больных и здоровых колосьев проводили в фазу молочной спелости. Классификацию типа устойчивости у образцов проводили по модифицированной шкале СЭВ для возбудителей пыльной головки (Дорошенко и др., 2022) (табл. 1).

Таблица 1. Типы устойчивости озимого ячменя к пыльной головне
Table 1. Types of winter barley resistance to loose smut

Балл	Степень устойчивости	Проявление патогена
0	Высокоустойчивые образцы	без поражения
1	Практически устойчивые	поражение не более 5 %
2	Слабовосприимчивые	поражение 5–10 %
3	Средневосприимчивые	поражение 10–25 %
4	Восприимчивые	поражение 25–50 %
5	Сильновосприимчивые	поражение более 50 %

Распределение изучаемых сортов на группы устойчивости вели по максимальному проценту поражения за годы изучения.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный (предкавказский, карбонатный) глинистый малогумусный. Структура почвы зернисто-комковатая.

Погодные условия в годы проведения исследования складывались благоприятно для проведения заражения и дальнейшего разви-

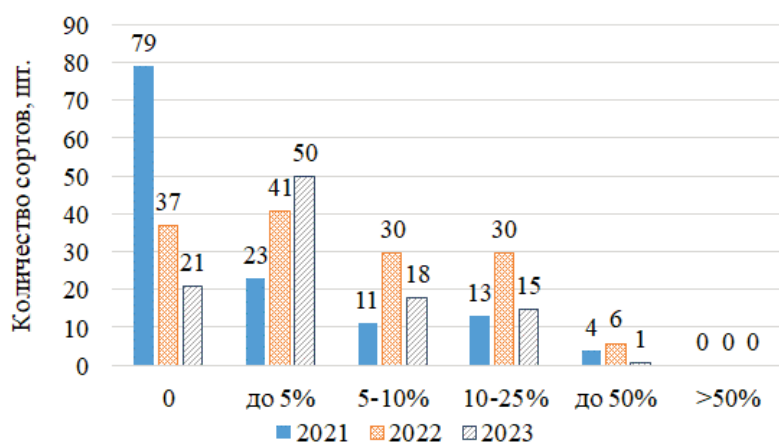
тия патогена, что позволило провести достоверную оценку. В мае при проведении заражения необходима влага. Сильно выделялись засушливые условия 2022 г.: в мае количество осадков было на 20,17 мм ниже среднемесячных показателей, в июне – на 61,73 мм. Температурный режим от 16 до 22 °С, необходимый для быстрого прорастания спор, соблюдался в течении всех трех лет (табл. 2).

Таблица 2. Погодные условия весенне-летнего периода в 2021–2023 гг.
Table 2. Weather conditions of the spring-summer period in 2021–2023

Месяц	Среднемесячные	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Среднемесячное количество осадков, мм.				
Март	37,0	83,2	67,4	36,0
Апрель	42,7	95,7	65,9	88,0
Май	51,3	65,0	31,13	116,0
Июнь	71,3	103,9	9,57	37,0
Среднемесячная температура воздуха, °С.				
Март	2,0	2,3	1,0	7,4
Апрель	10,7	10,0	12,6	11,5
Май	16,5	18,1	14,8	16,0
Июнь	20,5	21,5	23,2	20,5

Результаты и их обсуждение. Поражение патогеном в годы проведения исследования варьировало от 0 до 34,9 %. Сильновосприимчивых сортов с поражением более 50 % колосьев не выявлено. Поражение восприимчивого тест-сорта Паллидум 1679 в 2021 г. составило 61,7 %, в 2022 г. – 60 %, в 2023 г. – 62,3 %. Восприимчивость (от 25 до 50 % поражения) в 2021 г. показали 4 сорта: Хуторок (26,6 %), Gypsi (27 %), Безостый 1953 (32 %) и Премьер (33,9 %). В 2022 г. – 6 образ-

цов: сорта Паттерн (25,4 %), 7577/75 (26,2 %), Рандеву (29,6 %), Безостый 1954 (29,7 %), Caprice (34,9 %) и линия Параллелум 1767 × Эспада (32,1 %). В 2023 г. только один сорт – Ханелоре (28,9 %). Среднюю восприимчивость (от 10 до 25 % поражения) к патогену в 2021 г. проявили 11 образцов, в 2022 г. – 30 и в 2023 г. – 18. К слабовосприимчивым (от 5 до 10 %) отнесено в 2021 г. 11 образцов, в 2022 г. – 30, в 2023 г. – 18 (см. рисунок).



Распределение изучаемых образцов озимого ячменя по поражению пыльной головней в годы проведения исследования
Distribution of studied winter barley samples according to loose smut damage in the years of study

Для дальнейшей селекционной работы ценны высокоустойчивые и практически устойчивые образцы с проявлением поражения патогена не более 5 %. Наибольшее количество (102 сорта) таких образцов выявлено в услови-

ях 2021 г., включая сорта Ерема, Маруся, Фокс 1, Самсон, Платон, Гордей, Андрюша, Достойный, Эспада и др. В 2022 г. выявлено 78 образцов без поражения патогеном. Это такие сорта, как Тимофей, Степ, Маруся, Квант, Фокс 1,

Мастер, Самсон, Спринтер и др. В 2023 г. – 71 образец. Из них сорта Квант, Самсон, Спринтер, Достойный, Эспада, Онега, KWS-Meridian,

Explorer 5. Характеристика некоторых из них представлена в таблице 3.

Таблица 3. Характеристика выделившихся сортов озимого ячменя, устойчивых к пыльной головне, %
Table 3. Characteristics of the identified winter barley varieties resistant to loose smut, %

Сорт	Тип устойчивости	2021	2022	2023
Тимофей	практически устойчив	0	3	0,5
Степ	практически устойчив	0	2,9	4,4
Маруся	практически устойчив	0	1,9	2,8
Квант	высокоустойчив	0	1,8	0
Фокс 1	практически устойчив	1,6	0,4	0,5
Мастер	практически устойчив	1	0,6	2,3
Самсон	высокоустойчив	0	0	0
Спринтер	практически устойчив	3,6	1,9	0
Достойный	высокоустойчив	0	1,2	0
Эспада	практически устойчив	0	4,4	0
Онега	практически устойчив	1,8	4,6	0

Исходя из данных таблицы, сорт Самсон проявил высокую устойчивость к пыльной головне в условиях трех лет исследования. Сорта Квант и Достойный не имели поражения в условиях 2021 и 2023 гг., но в засушливых условиях 2022 г. поразилась менее 2 %. У остальных сортов поражение варьировало от 0 до 5 % стеблей, они направлены на дальнейшее изучение.

Среди изученных образцов в годы исследования также были выделены высокоустойчивые и практически устойчивые линии

селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». В 2021 г.: Параллелум 1947 × Параллелум 1911, Паллидум 2033, Параллелум 1947 × Фокс 1. В 2022 г.: Параллелум 1764 × Эспада, Тигр × Паллидум 1963, Параллелум 1947 × Паллидум 1813, Параллелум 1979 × Параллелум 1821, Тигр × Паллидум 1963 и др. В 2023 г.: Трудивник × Нутанс 1895, Маруся × Спринтер, Маруся × Достойный, Параллелум 1962 × Ерема, Параллелум 1958 × Паллидум 1899. Характеристика некоторых из них представлена в таблице 4.

Таблица 4. Характеристика выделившихся селекционных линий озимого ячменя
Table 4. Characteristics of the identified winter barley breeding lines

Селекционная линия	Тип устойчивости	2021	2022	2023
Параллелум 2019	Высокоустойчив	0	2,3	0
Трудивник × Нутанс 1895	Высокоустойчив	0,2	0	0
Маруся × Спринтер	Высокоустойчив	0	0	0
Параллелум 2136	Высокоустойчив	0	0	0
Параллелум 2110	Высокоустойчив	0	0,5	0,2
Параллелум 2131	Высокоустойчив	0,3	0	0

Селекционные линии Маруся × Спринтер, Параллелум 2136 не подверглись проявлению патогена за все годы исследования. Остальные линии, представленные в таблице, поражаются менее 5 %. Все они отобраны для дальнейшего изучения на поражение пыльной головней и рекомендованы к участию в селекционных программах.

Выводы. Проведенные исследования позволили выполнить качественную иммунологическую оценку сортов и линий озимого ячменя. Сорта озимого ячменя Тимофей, Степ, Маруся, Квант, Фокс 1, Мастер, Самсон, Спринтер, Достойный, Онега и Эспада пока-

зали практическую устойчивость в условиях 2021–2023 годов. Селекционные линии Параллелум 2019, Трудивник × Нутанс 1895, Маруся × Спринтер, Параллелум 2136, Параллелум 2110 и Параллелум 2131 имеют хорошую перспективу в качестве устойчивых сортов. Все выделенные источники резистентности к пыльной головне позволят селекционерам путем целенаправленного их использования в селекционном процессе создавать перспективный материал ячменя с высокой и практической устойчивостью к изученному патогену.

Библиографические ссылки

1. Дорошенко Е. С., Дорошенко Э. С., Шишкин Н. В. Полная иммунологическая характеристика коллекции голозерного ячменя в условиях южной зоны // Аграрный вестник Урала. 2022. № 08(223). С. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26
2. Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Поиск источников устойчивости к пыльной головне для селекции ярового ячменя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 174. С. 106–112. DOI: 10.21515/1990-4665-174-011

3. Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Оценка озимого ячменя на устойчивость к листовым болезням // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 103–108. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-103-108
4. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044
5. Левитин М. М., Афанасенко О. С., Гагкаева Т. Ю., Ганнибал Ф. Б., Гульяева Е. И., Мироненко Н. В. Популяционные исследования грибов – возбудителей болезней зерновых культур // Вестник защиты растений. 2019. № 4(102). С. 5–16. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16
6. Мешкова Л. В., Николаев П. Н., Васюкевич С. В., Сабаяева О. Б., Пяткова О. В. Иммунологическая характеристика ячменя и овса по устойчивости к природным популяциям головневых заболеваний // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 10. С. 43–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006
7. Семенова А. Г., Анисимова А. В., Ковалева О. Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (4). С. 108–116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116
8. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П., Засыпкина И. М. Новый среднеранний сорт озимого ячменя Маруся // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3(75). С. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-46-50
9. Doroshenko E., Filippov Ye., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, June 20–21, 2021. Ussurijsk. 2021. Article number: 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121
10. Shishkin N., Derova T., Kovalenko N., Ivanisov M., Kononenko O. Assessment of winter soft and durum wheat varieties for resistance to yellow and dark brown spots // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, June 20–21, 2021. Ussurijsk. 2021. Article number: 022123. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022123

References

1. Doroshenko E. S., Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Polnaya immunologicheskaya kharakteristika kollektsii golozernogo yachmenya v usloviyakh yuzhnoi zony [Complete immunological characteristics of the collection of hulled barley in the southern area] // Agrarnyi vestnik Urala. 2022. № 08(223). S. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26
2. Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Poisk istochnikov ustoichivosti k pyl'noi glavne dlya selektsii yarovogo yachmenya [Search for sources of resistance to loose smut for spring barley breeding] // Politematicheskii setevoy elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 174. S. 106–112. DOI: 10.21515/1990-4665-174-011
3. Doroshenko E. C., Shishkin N. V. Otsenka ozimogo yachmenya na ustoichivost' k listovym boleznyam [Estimation of winter barley for resistance to leaf diseases] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. Т. 14, № 6. С. 103–108. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-103-108
4. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. Razvitie sovremennoi selektsii i semenovodstva kormovykh kul'tur v Rossii [Development of modern breeding and seed production of forage crops in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. Т. 25, № 4. С. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044
5. Levitin M. M., Afanasenko O. S., Gagkaeva T. Yu., Gannibal F. B., Gul'tyaeva E. I., Mironenko N. V. Populyatsionnye issledovaniya gribov – vzbuditelei boleznei zernovykh kul'tur [Population study of fungi as grain crop pathogens] // Vestnik zashchity rastenii. 2019. № 4(102). С. 5–16. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16
6. Meshkova L. V., Nikolaev P. N., Vasyukevich S. V., Sabaeva O. B., Pyatkova O. V. Immunologicheskaya kharakteristika yachmenya i ovsa po ustoichivosti k prirodnym populyatsiyam glavnevykh zabolevani [Immunological characteristics of barley and oats for resistance to natural populations of smut diseases] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. Т. 34, № 10. С. 43–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11006
7. Semenova A. G., Anisimova A. V., Kovaleva O. N. Ustoichivost' k vrednym organizmam sovremennykh sortov yachmenya [Modern barley varieties' resistance to pests] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. № 182(4). С. 108–116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116
8. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Zasypkina I. M. Novyi srednerannii sort ozimogo yachmenya Marusya [The new middle-early winter barley variety 'Marusya'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 3(75). С. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-46-50
9. Doroshenko E., Filippov Ye., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 iyunya 2021 goda. Ussurijsk, 2021. Article number: 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121
10. Shishkin N., Derova T., Kovalenko N., Ivanisov M., Kononenko O. Assessment of winter soft and durum wheat varieties for resistance to yellow and dark brown spots // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 iyunya 2021 goda. Ussurijsk, 2021. Article number: 022123. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022123

Поступила: 01.08.24; доработана после рецензирования: 10.09.24; принята к публикации: 10.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шишкин Н. В. – концептуализация исследования; Дорошенко Е. С. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.