ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Т. 16, № 6. 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, ФГБУН «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 Минобразования 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 (по научным специальностям: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки), 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки). Журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ), Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Белый список. Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбедина 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 27.12.2024
Дата выхода 28.12.2024. 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, № 6. 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).

EDITORAL 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., FederalScientific Rice Centre– Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);
Zezin N. N., Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Ekaterinburg, Russia);
Klykov A. G., Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS, academician of RAS (Ussuriysk, Russia);
Kostylev P. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Agriculture), professor (Zernograd, Russia);
Lobachevsky Ya. P., Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor of RAS, academician of RAS (Moscow, Russia);
Lukomets V. M., Federal Scientific Center "V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A. M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pakhomov V. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Technology), docent, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agri-culture), 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 EDITORAL 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 science-practical journal is registered in the List of the leading reviewed scientific journals and publications issued in the country approved by the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, where basic scientific results of thesis on Ph.D. and Doctor of Sciences are to be published (scientific specialties: 4.1.1. General agriculture and plant production (agricultural science), 4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (agricultural science), 4.1.3. Agrochemistry, agricultural soil science, plant protection and quarantine (agricultural science). The journal is included into Russian Science Citation Index (RSCI) on the platform Web of Science (RSCI core), Russian Science Citation Index (RSCI), and in the "Whitelist". The journal is included in the international Directory of Open Access Journals (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 27.12.2024
The date of the issue is 28.12.2024. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.
Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ. Т. 16, № 6. 2024

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Гелюх В. Н., Ашиев А. Р., Барановский А. В., Садовой А. С. Относительная устойчивость исходного материала гороха посевного к гороховой зерновке (*Bruchus Pisorum* L.) в условиях Донбасса 5

Кравченко Н. С., Регидин А. А., Игнатьева Н. Г. Селекционная оценка исходного материала люцерны по урожайности и качеству зеленой массы 11

Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Шевченко Н. А. Изменчивость реакции на ЦМС новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от источника стерильности и метеоусловий года 21

Вожжова Н. Н., Жогалева О.С., Ковтунов В. В. Изучение аллельного разнообразия гена Rf1 у образцов сорго зернового 28

Наджодов Б. Б., Рубец В. С., Баженова С. С., Пыльнев В. В. Характеристика хозяйственно ценных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой мягкой пшеницы CIMMYT в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России 34

Костыленко О. А., Игнатьева Н. Г., Кравченко Н. С., Иванисова А. С. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по клейковинно-белковому комплексу зерна 42

Степочкин П. И., Брауэр Т. С. Сравнительная оценка яровых форм тритикале по некоторым количественным признакам 49

Регидин А. А., Игнатьев С. А., Горюнов К. Н. Оценка хозяйственно-биологических свойств и продуктивности коллекционных образцов эспарцета 56

Зезин Н. Н., Воробьев В. А., Воробьев А. В., Николаева З. Р., Маленкова Л. В. Ница – новый сорт яровой мягкой пшеницы уральской селекции 61

Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Кравченко Н. С. Сорт гороха посевного Казак 68

Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Черткова Н. Г., Марченко Д. М. Создание гаплоидных растений озимой пшеницы на основе метода отдаленной гибридизации с кукурузой 74

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Тимакова Р. Т., Гулова Т. И. Исследование возможности применения в хлебопечении муки из пророщенного после обработки излучением зерна пшеницы 81

Логинов Ю. П., Казак А. А. Влияние глубокой безотвальной обработки почвы на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Ирень в северной лесостепи Тюменской области 87

Васильченко С. А., Метлина Г. В., Копман И. К., Ковтунов В. В. Пищевой режим, водопотребление и урожайность сорго зернового в условиях южной зоны Ростовской области в зависимости от сроков посева и норм высева 93

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Балахнина И. В. Пономарев А. В., Кремнева О. Ю., Нестерова А. Ю., Лептягин Д. О., Снесарева Е. Г. Влияние севооборотов на популяции основных энтомофагов (обзор) 103

Дерова Т. Г., Шишкин Н. В. Пути развития и становления лаборатории иммунитета ФГБНУ «АНЦ «Донской» 110

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA. VOL. 16, № 6. 2024

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Gelyuks V. N., Ashiev A. R., Baranovsky A. V., Sadovoy A. S. Relative resistance of the initial material of peas to pea weevil (*Bruchus Pisorum* L.) in the Donbass 5

Kravchenko N. S., Regidin A. A., Ignatieva N. G. Breeding estimation of initial alfalfa material according to green mass productivity and quality 11

Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S., Shevchenko N. A. Variability of new self-pollinated maize lines' response to CMS depending on the sterility source and weather conditions of the year 21

Vozhzhova N. N., Zhogaleva O. S., Kovtunov V. V. Study of allelic diversity of the Rf1 gene in grain sorghum samples 28

Nadzhodov B. B., Rubets V. S., Bazhenova S. S., Pylnev V. V. Characteristics of economically valuable traits of synthetic hexaploid of spring common wheat lines CIMMYT in the Central region of the Non-Blackearth part of Russia 34

Kostylenko O. A., Ignatieva N. G., Kravchenko N. S., Ivanisova A. S. Characteristics of winter durum wheat varieties according to gluten-protein complex of grain 42

Stepochkin P. I., Bauer T. S. Comparative estimation of spring forms of triticale according to some quantitative traits 49

Regidin A. A., Ignatiev S. A., Goryunov K. N. Estimation of economic and biological properties and productivity of sainfoin collection samples 56

Zezin N. N., Vorobiev V. A., Vorobiev A. V., Nikolaeva Z. R., Malenkova L. V. Nitsa is a new spring common wheat variety of ural breeding 61

Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V., Kravchenko N. S. A pea variety 'Kazak' 68

Kalinina N. V., Dontsova V. Yu., Chertkova N. G., Marchenko D. M. Development of haploid winter wheat by the method of distant hybridization with maize 74

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Timakova R. T., Gulova T. I. Study of the possible use of flour obtained from wheat grain sprouted after radiation treatment in bread baking 81

Loginov Yu. P., Kazak A. A. The effect of deep subsoil tillage on productivity and grain quality of spring wheat variety 'Iren' in the northern forest-steppe of the Tyumen region 87

Vasilchenko S. A., Metlina G. V., Kopman I. K., Kovtunov V. V. Nutrient status, water consumption and productivity of grain sorghum in the southern part of the Rostov region depending on sowing dates and seeding rates 93

PLANT PROTECTION

Balakhnina I. V., Ponomarev A. V., Kremneva O. Yu., Nesterova A. Yu., Leptyagin D. O., Snesareva E. G. The effect of crop rotation on populations of major entomophages (review) 103

Derova T. G., Shishkin N. V. Development and establishment of the laboratory for plant immunity of the FSBSI "ARC "Donskoy" 110

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.358:632.938.1(477.6) **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-5-10**

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ГОРОХА ПОСЕВНОГО К ГОРОХОВОЙ ЗЕРНОВКЕ (*BRUCHUS PISORUM* L.) В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

В. Н. Гелюх[1], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой селекции и защиты растений, vladgel1@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0001-6335-1583;
А. Р. Ашиев[2], кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;
А. В. Барановский[1], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и окружающей среды, lnau_sorgo2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2098-0889;
А. С. Садовой[1], старший преподаватель кафедры селекции и защиты растений, sadovoialek@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979
[1]Федеральное 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;
[2]ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Потери урожая, вызываемые вредителями, представляют серьезную угрозу при возделывании гороха. Начиная с самых ранних стадий и вплоть до созревания растениям и семенам гороха причиняется серьезный вред. А гороховая зерновка (*Bruchus pisorum* L.) – в разряде наиболее опасных вредителей. По мнению ряда исследователей, ее вредоносность способна существенно снижать урожайность в отдельные годы на 30–40 %. Цель исследований – выявить степень поражения семян (*Bruchus pisorum* L.) образцов коллекции гороха с различным вегетационным периодом, выделить ценный исходный материал с последующим использованием его как донора повышенной устойчивости к вредоносности гороховой зерновки. Метеорологические условия в годы проведения исследований (2021–2023 гг.) не были одинаковыми, что позволило определить уровень повреждаемости форм гороха разных групп спелости. Было установлено, что наиболее уязвимыми оказалась среднеспелая группа с вегетационным периодом 65–85 дней. Общий уровень повреждений составил 36,8 %. Образцы с продолжительностью вегетационного периода в 51–60 дней оказались более устойчивыми. Повреждаемость семян в среднем была на уровне 22,9 %, что на 13,9 % меньше, чем у среднеспелых форм. По этому критерию представляют селекционную ценность образцы Stengolt, Charlston, Rodegune, Imposant, Pu-726. По показателю пищевой активности вредителя выделились формы Stengolt, Charlston, Pu-726, Imposant, Exsellans. Особый интерес для практической селекции имеют образцы Stengolt, Pu-726, Imposant, несущие в генотипе комплексную устойчивость как по баллу избираемости, так и по пищевой активности вредителя внутри семени. Выделившиеся образцы могут быть включены для дальнейшего использования в селекционные программы как доноры относительной устойчивости. Корреляционный анализ выявил достоверную высокую связь между повреждениями семян гороха и продолжительностью вегетационного периода изучаемых форм, баллом избираемости образцов гороха гороховой зерновкой и пищевой активностью вредителя внутри семени.

Ключевые слова: *горох, сорт, образец, гороховая зерновка (Bruchus pisorum L.), повреждаемость семян.*

Для цитирования*: Гелюх В. Н., Ашиев А. Р., Барановский А. В., Садовой А. С. Относительная устойчивость исходного материала гороха посевного к гороховой зерновке (Bruchus Pisorum L.) в условиях Донбасса // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 5–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-5-10.*

(cc) BY

RELATIVE RESISTANCE OF THE INITIAL MATERIAL OF PEAS TO PEA WEEVIL (*BRUCHUS PISORUM* L.) IN THE DONBASS

V. N. Gelyuks[1], 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. Ashiev[2], 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. Baranovsky[1], Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of agriculture and environment, lnau_sorgo2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2098-0889;
A. S. Sadovoy[1], senior lecturer of the department of plant breeding and protection, sadovoialek@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979.

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

Yield losses caused by pests pose a serious threat when cultivating peas. From the earliest stages until maturing, pea plants and seeds are seriously damaged. The pea weevil (*Bruchus pisorum* L.) is among the most dangerous pests. According to some researchers, its harmfulness can significantly reduce yields by 30–40 % in some years. The purpose of the current study was to identify a seed damage rate (*Bruchus pisorum* L.) of pea collection samples with different vegetation periods, to select valuable initial material with subsequent use as a donor of increased resistance to the harmfulness of pea weevil. The weather conditions during the years of study (2021–2023) were different, which made it possible to determine the damage rate to pea forms of different maturity groups. There has been found that the mid-maturing group with a vegetation period of 65–85 days was the most vulnerable. The general damage rate was 36.8 %. The samples with a vegetation period of 51–60 days were more resistant to the pest. Seed damage rate was on average 22.9 %, which was 13.9 % less than that of mid-maturing forms. According to this criterion, the samples 'Stengolt', 'Charlston', 'Rodegune', 'Imposant', 'Pu-726' are of significant breeding value. According to the indicator of pest activity, there have been identified the forms 'Stengolt', 'Charlston', 'Pu-726', 'Imposant', 'Exsellans'. The samples 'Stengolt', 'Pu-726', 'Imposant' are of particular interest for practical breeding since they carry complex resistance in the genotype, both by selectivity and by larvae activity inside the seed. The identified samples can be used in future breeding programs as donors of relative resistance. The analysis has revealed a reliable high correlation between damage rate of pea seeds and the length of a vegetation period of the studied forms, a selectivity rate of pea samples by pea weevil and larvae activity inside the seed.

Keywords: *peas, variety, sample, pea weevil (Bruchus pisorum L.), seed damage rate.*

Введение. Горох (*Pisum sativum* L.) является важной зернобобовой культурой благодаря своей питательной ценности и роли в повышении плодородия почвы в системах земледелия (Зорин и др., 2019, Букин и др., 2020). Однако не всегда сохранению будущего урожая этой высокобелковой культуры уделяется достаточно внимания (Васильева и др., 2020). Особо остро стоит вопрос не только об увеличении валового сбора зерна, но и сокращении потерь урожая из-за вредителей. Потери урожая гороха, вызываемые вредителями, представляют серьезную угрозу, а также являются одной из составляющих сдерживания производства этой ценной культуры. На всем протяжении вегетационного периода растения и семена гороха повреждаются фитофагами, начиная с самых ранних стадий и вплоть до созревания. А гороховая зерновка (*Bruchus pisorum* L.) относится к разряду самых опасных их них. Как считают некоторые исследователи, ее вредоносность способна существенно снижать всхожесть и урожайность (в отдельные годы на 30–40 %) (Вахитова и др., 2014), а то и полностью приводить урожай в негодность (Илларионов и др., 2018). Выгрызание полостей в горошинах в период развития вредителя уменьшает их массу и вызывает 70–80-процентную потерю всхожести. Зерно такого качества запрещается использовать для продовольственных и кормовых целей из-за накопления в нем продуктов жизнедеятельности вредителя – токсичного алкалоида кантаридина (Ганиев и др., 2009). Полностью иммунных сортов к поражению гороховой зерновкой не выявлено, однако обнаружена избирательность самок *Bruchus pisorum* L. в кладке яиц в зависимости от генетических особенностей питающих их растений. Регулировать численность вредителя, снижая вредоносность до норм экономического порога вредоносности, возможно различными способами. Борьба с гороховой зерновкой в основном ведется путем применения инсектицидов против взрослых особей до откладки яиц – на стадии начала и середины цветения гороха (Долматова и др., 2020). Использование химических препаратов, помимо сдерживания численности вредителей, оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Важное направление в решении этой задачи – создание урожайных и относительно устойчивых к гороховой зерновке сортов гороха. Одной из эффективных мер борьбы с *Bruchus pisorum* L. являются поиск и выявление относительно устойчивых толерантных форм, способных одновременно, не снижая продуктивности растений, формировать высокий урожай и противостоять воздействию фитофага (Костерин, 2015).

Материалы и методы исследований. Полевые исследования по изучению относительной устойчивости образцов гороха к гороховой зерновке (*Bruchus pisorum* L.) проводили в севообороте опытного поля ФГБОУ ВО Луганского ГАУ в 2021–2023 гг., в лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур. Объектом исследований служили образцы гороха коллекции ВИР с различным вегетационным периодом и происхождением. Посев проводили ручным способом при физической спелости почвы в оптимальные сроки для зоны степи Донбасса. Площадь делянок – 5 м^2, площадь питания растений – 10×30 см. Пестициды во время вегетации гороха не применяли. Почва – чернозем обыкновенный среднесуглинистый. Агротехника общепринятая для культуры гороха. Предшественник – озимая пшеница. На протяжении всей вегетации гороха проводили фенологические наблюдения. Уборку выполняли вручную. Иммунологическую устойчивость образцов по отношению к гороховой зерновке оценивали согласно методическим указаниям (Шапиро и др., 1987). Статистическую обработ-

ку данных исследований проводили по общепринятой методике полевого опыта (Доспехов, 2014).

Метеорологические условия в годы исследований были неодинаковыми, отличались температурными показателями и количеством осадков.

В 2021 г. в связи со сравнительно невысокой суммой осадков за осенне-зимний и ранневесенний период ранневесенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составляли 126,6–124,1 мм. Вегетационный период (с апреля по июль) по гидротермическому режиму сложился относительно благоприятно для роста и развития растений. За данный период ГТК составил 1,37 (норма – 1,06), а сумма осадков – 272,9 мм (норма – 219 мм). Сумма активных температур (более 10 °С) за период вегетации составила 2166,2 °С, что на 176,2 °С превысило многолетнюю норму. Такая погода во во 2–3-й декадах июля способствовала преждевременной уборке урожая гороха.

В 2022 г. сумма осенне-зимних и ранневесенних осадков (290,1 мм) была больше прошлогодних значений, но к моменту сева в первой декаде апреля были накоплены только удовлетворительные запасы продуктивной влаги (126,0–127,2 мм). ГТК за апрель–июль составил 0,92, сумма осадков – 167,8 мм, что на 51,2 мм меньше многолетней нормы. В целом за вегетацию культуры условия увлажнения соответствовали засушливой природной зоне, типичной степи – ГТК = 0,7–1,0. Сумма активных температур превысила норму на 158,5 °С. Фаза полной спелости гороха наступила во второй декаде июля.

В 2023 г. вегетация гороха проходила в более благоприятных условиях (ГТК – 1,27) при сумме выпавших осадков на 31,4 мм больше нормы. Весенние запасы продуктивной влаги перед севом были на уровне 147,1 мм. За период с апреля по июль была накоплена сумма активных температур 2043,7 °С, что практически на уровне многолетней климатической нормы. Однако высокие дневные и ночные температуры воздуха (33–36 °С) в фазу налива зерна привели к снижению массы 1000 семян и в итоге отрицательно сказались на формировании урожая.

Результаты и их обсуждение. Гороховая зерновка (*Bruchus pisorum* L.) – узкоспециализированный вредитель (монофаг), который не только повреждает урожай, но и значительно ухудшает его качество, товарность, резко снижает посевные качества семян. Для определения уровня повреждаемости образцов гороха, имеющих разный вегетационный период и происхождение, были проведены обследования делянок коллекции гороха на момент заселения посевов гороховой зерновкой (127–142 шт. вредителя на 100 взмахов сачка) (табл. 1).

Таблица 1. Повреждаемость сортообразцов гороха гороховой зерновкой (*Bruchus pisorum* L.) в зависимости от сроков созревания (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 1. Pea weevil (Bruchus pisorum L.) damage rate of pea variety samples depending on maturing time (mean in 2021–2023)

Образец	Происхождение	Вегетационный период, дни	Повреждаемость, %
Аксайский усатый 5	Россия	71–80	38,3
Аксайский усатый 7	Россия	70–75	31,5
Аксайский усатый 10	Россия	65–75	28,1
Сантана	Германия	70–75	26,9
Орловчанин	Россия	68–78	32,1
Темп	Россия	75–80	36,3
Аргон	Россия	74–85	47,4
Орлус	Россия	75–86	39,3
Флагман 12	Россия	65–80	34,2
Спартак	Россия	65–75	28,9
Благовест	Россия	70–81	37,6
Демос	Россия	65–70	24,4
Stengolt	Германия	53–58	20,8
Solara	Нидерланды	65–70	27,7
Степовик	Украина	65–70	34,3
Charlston	Франция	55–60	22,9
Rodegune	Германия	65–60	24,4
Pu-726	Великобритания	52–57	19,7
Imposant	Венгрия	51–56	22,3
Exsellans	Германия	56–62	27,4

Установлено, что образцы гороха разных групп спелости имеют отличия в степени повреждения семян вредителем, вызванные специфическими особенностями генотипа и сложившимися климатическими условиями.

В большей степени повреждениям были подвержены образцы с длиной вегетационного периода 65–85 дней. В этот перечень вошли среднеспелые формы: Аксайский усатый 5 – 38,3 %, Аксайский усатый 7 – 31,5 %,

Орловчанин – 32,1 %, Темп – 36,3 %, Орлус – 39,3 %, Флагман 12 – 34,2 %, Благовест – 37,6 %, Степовик – 34,3 %. Наибольшие повреждения гороховой зерновкой (47,4 %) наблюдались у сорта Аргон. Следует отметить, что среди образцов с периодом вегетации 65–75 дней повреждения семян были несколько ниже и составили в среднем 27,2 %, это сорта: Аксайский усатый 10 – 28,1%, Сантана – 26,9 %, Спартак – 28,9 %, Демос – 24,4 %, Solara – 27,7 %. По всей видимости, у среднеспелых форм наиболее идеально совпадают фазы органогенеза развития растений с циклом развития вредителя, способствующие максимальному размножению. Поражение проходит в период формирования эпидермиса створок бобов и семян. Однако замечено, что самки *Bruchus pisorum* L. предпочтительнее откладывали яйца на почти полностью сформированные бобы, но также не отказывались в кладке и на очень молодые, формирующиеся в верхнем ярусе невыполненные бобы. Но отродившиеся личинки на таких еще не сформированных бобах верхнего яруса зачастую погибали. Группа сортов с продолжительностью вегетационного периода 51–60 дней оказалась менее подвержена повреждениям гороховой зерновкой. Повреждаемость в среднем составила 22,9 %. Это образцы Stengolt – 20,8 %, Charlston – 22,9 %, Rodegune – 24,4 %, Imposant – 22,3 %, Exsellans – 27,4 %. Самым устойчивым к повреждениям оказался скороспелый образец из Великобритании Pu-726 – 19,7%. Поражения скороспелой группы было на 13,9 % меньше в сравнении со среднеспелыми образцами. Меньшая повреждаемость в этой группе, возможно, связана с более быстрым прохождением растениями начальных фаз вегетации, которая в свою очередь в некоторой мере не совпадала со временем яйцекладки вредителя. Проявление уровня устойчивости как фактора есть слагаемое, во многом зависящее от природы признаков и свойств, контролирующих ее. Некоторые формы могут быть устойчивы по одному признаку и абсолютно неустойчивы по другому, что дает возможность вредителю поражать растения. Особую селекционную ценность представляют формы, сочетающие несколько признаков, способных усиливать действие друг друга. Очень важным показателем в оценке источников устойчивости является признак пищевой активности вредителя внутри семени, который рассматривается нами в комплексе с показателем избираемости самками *Bruchus pisorum* L. питающих их растений. Изучение имеющегося генофонда гороха с различным вегетационным периодом позволило выявить образцы, относительно устойчивые к гороховой зерновке (табл. 2).

Таблица 2. Устойчивость образцов гороха по избираемости самками *Bruchus pisorum* L. и пищевой активности личинки внутри зерна (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 2. Pea samples' resistance to female weevil *Bruchus pisorum* L. and larvae activity inside the seed (mean in 2021–2023)

Образец	Балл избираемости	Средняя масса одного зерна, мг		Разность в массе		Устойчивость
		неповрежденного	поврежденного	в мг	% к неповрежденному	
Аксайский усатый 5	4,8	189,8±3,2	117,1±3,3	72,7	38,3	НИ/СУ
Аксайский усатый 7	4,5	215,7±4,2	147,8±3,1	67,9	31,5	НИ/СУ
Аксайский усатый 10	3,5	207,4±3,0	149,1±2,9	58,3	28,1	НИ/СУ
Сантана	3,5	245,1±4,1	179,2±3,1	65,9	26,9	НИ/СУ
Благовест	4,8	270,9±3,8	169,3±4,3	101,6	37,6	НИ/НУ
Демос	3,2	230,3±4,1	143,7±2,3	86,6	24,4	НИ/НУ
Орловчанин	3,4	267,7±4,2	181,8±3,7	85,9	32,1	НИ/НУ
Темп	4,8	242,4±5,2	154,4±3,8	88,0	36,3	НИ/НУ
Аргон	5,0	250,8±4,9	131,9±5,1	118,9	47,4	НИ/НУ
Орлус	5,0	267,7±4,3	162,7±4,7	105,0	39,3	НИ/НУ
Флагман 12	4,5	232,5±3,5	153,0±2,9	79,5	34,2	НИ/НУ
Спартак	3,6	230,3±3,9	163,8±3,1	66,5	28,8	НИ/СУ
Stengolt	2,9	143,5±2,7	108,5±4,0	35,0	20,8	СрИ/У
Solara	3,5	232,1±2,9	167,8±2,4	64,3	27,7	НИ/СУ
Степовик	4,3	225,5±3,8	148,2±3,7	77,3	34,3	НИ/НУ
Charlston	3,1	237,1±2,6	182,8±3,3	54,3	22,9	НИ/У
Rodegune	3,2	221,2±4,5	166,1±2,0	55,1	24,9	НИ/СУ
Pu-726	2,5	154,5±3,7	124,1±3,9	30,4	19,7	СрИ/У
Imposant	2,9	166,5±3,5	129,4±2,4	37,1	22,3	СрИ/У
Exsellans	3,4	127,8±4,1	92,8±3,3	35,0	27,4	НИ/У

Примечание. В числителе значения устойчивости по избираемости образцов гороха самками Bruchus pisorum L.: НИ – наиболее избираемый, СрИ – среднеизбираемый, СлИ – слабоизбираемый. В знаменателе – значения по пищевой активности вредителя: У – устойчивый, СУ– среднеустойчивый, НУ – неустойчивый.

Были проанализированы показатели – избираемость образцов гороха гороховой зерновкой в откладке яиц, которая определяется баллом избираемости, и пищевая активность вредителя внутри семени, представленная разностью в массе неповрежденных и повре-

жденных зерен. Установлено, что все образцы, относящиеся к среднеспелой группе (вегетационный период 65–85 дней) по баллу избираемости самками Bruchus pisorum L., имели самые высокие показатели – 3,2–5,0. Однако по пищевой активности вредителя внутри семени сорта Аксайский усатый 5, Аксайский усатый 7, Аксайский усатый 10, Сантана, Спартак были отнесены к среднеустойчивым.

По группе скороспелых форм (вегетационный период 51–60 дней) образцы Stengolt, Pu-726, Imposant были отнесены к слабоизбираемым, бал избираемости которых составил 2,5–2,9. Показатель пищевой активности варьировал в пределах 30,4–37,1. По наибольшей устойчивости выделились формы Stengolt, Charlston, Pu-726, Imposant, Exsellans. Среднюю устойчивость имели образцы Solara, Rodegune. Повышенный интерес представляют формы Stengolt, Pu-726, Imposant, имеющие комплексную устойчивость к гороховой зерновке как по баллу избираемости, так и по пищевой активности вредителя внутри семени. Период проникновения личинки в семя ограничивается началом одревеснения стенок сосудов и пергаментного слоя бобов. Ротовой аппарат личинки не в состоянии прогрызать одревеснвшие ткани. Чем быстрее проходят фазы созревания гороха, тем короче период повреждения семян. Иногда этому способствуют и погодные условия – повышенные температуры и критически малое выпадение осадков при вегетации вынуждают растения значительно сокращать периоды органогенеза. Следует отметить, что наиболее уязвимыми к повреждениям оказывались образцы гороха с малой массой 1000 семян. При высокой повреждаемости пораженные личинками гороховой зерновки семена теряли более половины своей массы, почти полностью теряли всхожесть за счет выгрызания не только эндосперма, но и зародыша. Сделанные выводы подтверждают вычисленные коэффициенты корреляции между повреждаемостью семян и ее элементами, а также продолжительностью вегетационного периода у растений образцов коллекции гороха (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная связь повреждаемости семян гороха гороховой зерновкой *Bruchus pisorum* L.и ее элементами (2021–2023 гг.)
Table 3. Correlation between pea weevil (*Bruchus pisorum* L.) damage rate of pea seeds and its elements (2021–2023)

Показатель	Коэффициент корреляции (r)
Продолжительность вегетационного периода, сут.	0,81**
Пищевая активность вредителя внутри семени, мг	0,55**
Балл избираемости	0,64***

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

Полученные коэффициенты корреляции показали большую достоверную связь повреждаемости и продолжительности вегетационного периода r = 0,81***. Корреляции массы пищевой активности вредителя и балла избираемости с повреждаемостью семян были существенными и достоверными r = 0,55**– 0,64***.

Выводы. В ходе исследований было установлено, что поражение семян гороховой зерновкой было самым высоким (36,85 %) у образцов гороха среднеспелой группы с вегетационным периодом 65–85 дней. Формы с продолжительностью вегетационного периода 51–60 дней оказались более устойчивы к повреждениям. Повреждаемость в среднем составила 22,9 %. По этому показателю представляют ценность образцы Stengolt – 20,8 %, Charlston – 22,9 %, Rodegune – 24,4 %, Imposant – 22,3 %, Pu-726 – 19,7 %, что связано с более быстрым прохождением растениями начальных фаз вегетации, отрицательно влияющим на яйцекладки *Bruchus pisorum* L. По показателю пищевой активности наибольшей устойчивостью обладают формы Stengolt, Charlston, Pu-726, Imposant, Exsellans. Наиболее привлекательны образцы Stengolt, Pu-726, Imposant, у которых имеется комплексная устойчивость как по баллу избираемости, так и по пищевой активности вредителя внутри семени. Установленные коэффициенты корреляции показали высокую зависимость повреждений семян гороха от продолжительности вегетационного периода изучаемых сортов, балла избираемости образцов гороха гороховой зерновкой и пищевой активности вредителя внутри семени (r = 0,55**– 0,81***). Выделившиеся образцы гороха могут быть рекомендованы для использования в практической селекции как доноры относительной устойчивости к гороховой зерновке в регионе Донбасса.

Библиографический список

1. Букин О. В., Бочкарев Д. В., Никольский А. Н., Смолин Н. В. Влияние приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги и урожайность гороха посевного в условиях лесостепи европейской части России // Аграрная наука. 2020. № 339(6). С. 58–61. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-58-61

2. Васильева Е. Н., Ахтемова Г. А., Афонин А. М. Культивируемые эндофитные бактерии стеблей и листьев гороха посевного (*Pisum sativum* L.) // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 2. С. 169–184. DOI: 10.17816/ecogen17915

3. Вахитова Р. К., Давлетов Ф. А., Гайфуллин Р. Р. Эффективность применения инсектицидов в борьбе с гороховой зерновкой и плодожоркой // Вестник защиты растений. 2014. № 4. С. 64–66.
4. Ганиев М. М., Недорезков В. Д., Шарипов Х. Г. Вредители и болезни зерна и зернопродуктов при хранении: учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов, обучающихся по специальности «Технология хранения и переработки зерна». М.: Колос, 2009. 206 с.
5. Долматова Л. С., Садовников Г. Г., Стецов Г. Я. Современные средства и приемы в защите от основных вредителей гороха // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 7. С. 38–42. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10706
6. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
7. Зорин Е. А., Кулаева О. А., Афонин А. М. Анализ событий альтернативного сплайсинга в кончиках корней и клубеньках *Pisum sativum* L. // Экологическая генетика. 2019. Т. 17, № 1. С. 53–63. DOI: 10.17816/ecogen17153-63
8. Илларионов А. И., Разумейко И. Н. Фитофаги гороха и приемы ограничения их вредоносности // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3(58). С. 20–31. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.20
9. 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
10. Шапиро И. Д., Вилкова Н. А., Малаханов Ю. А. Усовершенствованные методические указания по оценке устойчивости образцов гороха к гороховой зерновке / ВАСХНИЛ ВИЗР. Л., 1987. 25 с.

References

1. Bukin O. V., Bochkarev D. V., Nikol'skii A. N., Smolin N. V. Vliyanie priemov osnovnoi obrabotki pochvy na dinamiku zapasov vlagi i urozhainost' gorokha posevnogo v usloviyakh lesostepi evropeiskoi chasti Rossii [Effect of primary tillage on the dynamics of moisture reserves and field peas' productivity in the forest-steppe of the European part of Russia] // Agrarnaya nauka. 2020. № 339(6). S. 58–61. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-58-61
2. Vasil'eva E. N., Akhtemova G. A., Afonin A. M. Kul'tiviruemye endofitnye bakterii steblei i list'ev gorokha posevnogo (*Pisum sativum* L.) [Cultivated endophytic bacteria of stems and leaves of field peas (*Pisum sativum* L.)] // Ekologicheskaya genetika. 2020. T. 18, № 2. S. 169–184. DOI: 10.17816/ecogen17915
3. Vakhitova R. K., Davletov F. A., Gaifullin R. R. Effektivnost' primeneniya insektitsidov v bor'be s gorokhovoi zernovkoi i plodozhorkoi [Efficiency of insecticides against pea weevil and codling moth] // Vestnik zashchity rastenii. 2014. № 4. S. 64–66.
4. Ganiev M. M., Nedorezkov V. D., Sharipov Kh. G. Vrediteli i bolezni zerna i zernoproduktov pri khranenii: uchebnoe posobie dlya studentov sel'skokhozyaistvennykh vuzov, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti «Tekhnologiya khraneniya i pererabotki zerna» [Pests and diseases of grain and grain products during storage: a textbook for agricultural universities' students of the specialty "Technology of grain storage and processing"]. M.: Kolos, 2009. 206 s.
5. Dolmatova L. S., Sadovnikov G. G., Stetsov G. Ya. Sovremennye sredstva i priemy v zashchite ot osnovnykh vreditelei gorokha [Modern means and techniques in protection against the main pests of peas] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 7. S. 38–42. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10706
6. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [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.
7. Zorin E. A., Kulaeva O. A., Afonin A. M. Analiz sobytii al'ternativnogo splaisinga v konchikakh kornei i kluben'kakh *Pisum sativum* L. [Analysis of alternative splicing in root tips and nodules of *Pisum sativum* L.] // Ekologicheskaya genetika. 2019. T. 17, № 1. S. 53–63. DOI: 10.17816/ecogen17153-63
8. Illarionov A. I., Razumeiko I. N. Fitofagi gorokha i priemy ogranicheniya ikh vredonosnosti [Pea phytophages and methods for limiting their harmfulness] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 3(58). S. 20–31. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.20
9. Kosterin, O. E. Perspektivy ispol'zovaniya dikikh sorodichei v selektsii gorokha (*Pisum sativum* L.) [Prospects for using wild relatives in pea breeding (*Pisum sativum* L.)] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2015. T. 19, № 2. S. 4–14. DOI: 10.18699/VJ15.019
10. Shapiro I. D., Vilkova N. A., Malakhanov Yu. A. Usovershenstvovannye metodicheskie ukazaniya po otsenke ustoichivosti obraztsov gorokha k gorokhovoi zernovke [Improved methodical recommendations for estimating resistance of pea samples to pea weevil] / VASKhNIL VIZR. Leningrad, 1987. 25 s.

Поступила: 28.08.24; доработана после рецензирования: 11.10.24; 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. 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.

УДК 633.31:631.52(470.61) **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-11-20**

СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ЛЮЦЕРНЫ ПО УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВУ ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической и технологической оценки, ninakravchenko78@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;
А. А. Регидин, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав,
ORCID ID:0000-0002-3246-1501;
Н. Г. Игнатьева, техник-исследователь лаборатории биохимической и технологической оценки,
ORCID ID: 0000-0002-8506-8711
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Селекция многолетних трав является фундаментом создания кормовой базы для производства животноводческой продукции высокого качества. Цель исследований – оценить изменчивость фенотипических признаков коллекционных популяций люцерны, а также выделить наиболее перспективные с точки зрения лучшей выраженности важных агрономических признаков для создания сортов, отвечающих современным требованиям сельскохозяйственного производства. Проведена оценка хозяйственно ценных признаков 80 популяций люцерны коллекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» различного эколого-географического происхождения за период 2019–2023 годов. В качестве стандарта использовали сорт Ростовская 90. Был определен биохимический анализ зеленой массы образцов коллекции люцерны, определяли: содержание белка, жира, золы, клетчатки и БЭВ, был проведен статистический анализ экспериментальных данных. В результате исследований выделены образцы, характеризующиеся высокой урожайностью зеленой массы: Смуглянка (Украина) – 7,9 кг/м^2, Rambler (Канада) – 7,7 кг/м^2 и Ставропольская 430 (Россия) – 7,6 кг/м^2. Высокими показателями качества зеленой массы отличились образцы Тибетская (Казахстан), Синегибридная 1316 (Россия), Ставропольская 430 (Россия), Rhizoma (Канада), Rambler (Канада), ВНИИОЗ-16 (Россия), Смуглянка (Украина), Карлыгаш (Казахстан), Prowler (США), Сарга (Россия), Г-4 (Россия), Донская 5 (Россия), Син 4 (Россия), Син 5 (Россия) и Син 6 (Россия), которые рекомендованы для включения в селекционные программы по созданию сортов люцерны с высоким урожаем зеленой массы и питательными свойствами сухого вещества.

Ключевые слова: *люцерна, популяция, сырой протеин, клетчатка, жир, зола, БЭВ.*

Для цитирования: *Кравченко Н. С., Регидин А. А., Игнатьева Н. Г. Селекционная оценка исходного материала люцерны по урожайности и качеству зеленой массы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 11–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-11-20.*

(cc) BY

BREEDING ESTIMATION OF INITIAL ALFALFA MATERIAL ACCORDING TO GREEN MASS PRODUCTIVITY AND QUALITY

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher
of the laboratory for biochemical and technological estimation, ninakravchenko78@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;
A. A. Regidin, researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses,
ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;
N. G. Ignatieva, technician-researcher of the laboratory for biochemical and technological estimation,
ORCID ID: 0000-0002-8506-8711
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Breeding of perennial grasses is the foundation for developing a forage base to produce high-quality livestock products. The purpose of the current study was to estimate the variability of phenotypic traits of alfalfa collection populations, as well as to identify the most promising ones in terms of possession of important agronomic traits for developing varieties that meet modern requirements of agricultural production. There have been estimated economically valuable traits of 80 alfalfa populations of various ecological and geographical origins from the collection of the FSBSI "ARC "Donskoy" for the period 2019–2023. The variety 'Rostovskaya 90' was used as a standard. There was determined a biochemical analysis of the green mass of alfalfa collection samples, including content of protein, fat, ash, fiber, and NFE, and there was carried out a statistical analysis of the experimental data. As a result of the research, there were identified the samples 'Smuglyanka' (Ukraine) – 7.9 kg/m^2, 'Rambler' (Canada) – 7.7 kg/m^2 and 'Stavropolskaya 430' (Russia) – 7.6 kg/m^2 with large productivity of green mass. The samples with high indicators of green mass quality 'Tibetskaya' (Kazakhstan), 'Sinegibridnaya 1316' (Russia), 'Stavropolskaya 430' (Russia), 'Rhizoma' (Canada), 'Rambler' (Canada), 'VNIIOZ-16' (Russia), 'Smuglyanka' (Ukraine), 'Karlygash' (Kazakhstan), 'Prowler' (USA), 'Sarga' (Russia), 'G-4' (Russia), 'Donskaya 5' (Russia), 'Sin 4' (Russia), 'Sin 5' (Russia) and 'Sin 6' (Russia) have been recommended for breeding programs to develop alfalfa varieties with large productivity of green mass and nutritional properties of dry matter.

Keywords: *alfalfa, population, crude protein, fiber, fat, ash, NFE.*

Введение. Люцерна – одна из самых популярных многолетних кормовых бобовых культур, которая является источником высокопитательного объемного корма для скота (Игнатьев и Регидин, 2019; Sousa at al., 2020).

Люцерна обеспечивает более высокий выход белков на единицу площади, чем любая полевая культура, что делает ее предпочтительной для производства сена и корма для домашних животных (Игнатьев и Регидин, 2020; Tucak at al., 2021). Как источник белка может использоваться для различных сельскохозяйственных животных и тем самым служить для производства молока, мяса и для потребления человеком (Игнатьев и др., 2022).

Качественные признаки многолетних бобовых имеют очень сложную природу, и на их проявление влияют, помимо генетических факторов, факторы окружающей среды (особенно засуха, оказывающая прямое и косвенное воздействие на морфологию и физиологию растений), а также частота скашивания, степень зрелости растений (Ju at al., 2018; Tucak at al., 2020).

Селекционная работа с люцерной во всем мире направлена главным образом на увеличение объемов ее производства и улучшение качества кормов: повышение содержания белка и перевариваемости, снижение концентрации антипитательных веществ, улучшение морфобиологических свойств (Jia at al., 2018; Байкалова Л.П., 2017; Алабушев и др., 2019; Иванова, 2022).

Первоочередной задачей селекции люцерны в ФГБНУ «АНЦ «Донской» является изучение коллекционных популяций. Исходный материал анализируется по различным хозяйственно ценным признакам и по их комплексу с целью подбора материала, подходящего для селекции на продуктивность и качество зеленой массы в условиях юга России. Всесторонний анализ коллекционного материала позволяет повысить эффективность использования изучаемых образцов при создании новых перспективных сортов (Игнатьев и Регидин, 2019).

Цель исследований заключалась в оценке изменчивости фенотипических признаков коллекционных популяций люцерны, а также в выборе наиболее перспективных с точки зрения высоких значений важных агрономических признаков для создания сортов, отвечающих современным требованиям сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2019–2023 годы. Коллекционный питомник закладывали по общепринятым методикам для возделывания кормовых культур (Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых трав, 1975). Стандартный сорт люцерны Ростовская 90 высевали через каждые 10 номеров. Площадь делянки 1 м^2, повторность двукратная. Учет зеленой массы проводили в фазе «конец бутонизации – начало цветения». В период учета зеленой массы отбирали сноп весом 1 кг для определения облиственности. Содержание сырого протеина, сырого жира, золы, сырой клетчатки и сухого вещества определяли согласно методическим указаниям по оценке качества и питательности кормов (2002). Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерных программ Excel и Statistica 10.0.

Количество осадков в период вегетации люцерны в 2019 и 2020 гг. было меньше среднемноголетнего значения (268,2 мм) и составляло 238,4 и 242,3 мм соответственно (89 и 90 % от нормы). Количество осадков в 2021 г. превышало среднемноголетний показатель (340,3 мм) на 27 %. В 2022 и 2023 гг. весь период вегетации люцерны характеризовался недостаточным количеством осадков и температурным режимом выше среднемноголетних значений, что сказалось на формировании биохимического состава зеленой массы.

Среднесуточные температуры во все годы изучения были на 0,6–5,2 °С выше среднемноголетних значений. На фоне высоких среднесуточных температур растения люцерны испытывали недостаток влаги, особенно во второй половине вегетации.

Результаты и их обсуждение. Ценность люцерны как кормовой культуры обусловливается в первую очередь урожайностью зеленой массы. Значения варьировали от 3,7 кг/м^2 (Sitel) (Франция) до 7,9 кг/м^2 (Смуглянка) (Украина) (рис. 1).

У Ростовской 90 урожайность зеленой массы была 6,9 кг/м^2, $НСР_{0,5}$ в опыте составило 0,7 кг/м^2. По урожайности зеленой массы выделились образцы Смуглянка (Украина) – 7,9 кг/м^2, Rambler (Канада) – 7,7 кг/м^2 и Ставропольская 430 (Россия) – 7,6 кг/м^2, которые автры рекомендуют для дальнейшего использования в селекционном процессе.

Высота растений является важным признаком и комплексным показателем морфологического строения и физиологических функций растений. Это ключевой фактор, определяющий поглощение растениями световой энергии, фотосинтез и распределение питательных веществ, тем самым играя решающую роль в урожайности и качестве продукции (Ju et al., 2019). За годы исследований высота растений в коллекционном питомнике варьировала от 86,8 см ((Perry) США) до (Г-5 (Россия)) – 101,0 см (рис. 2).

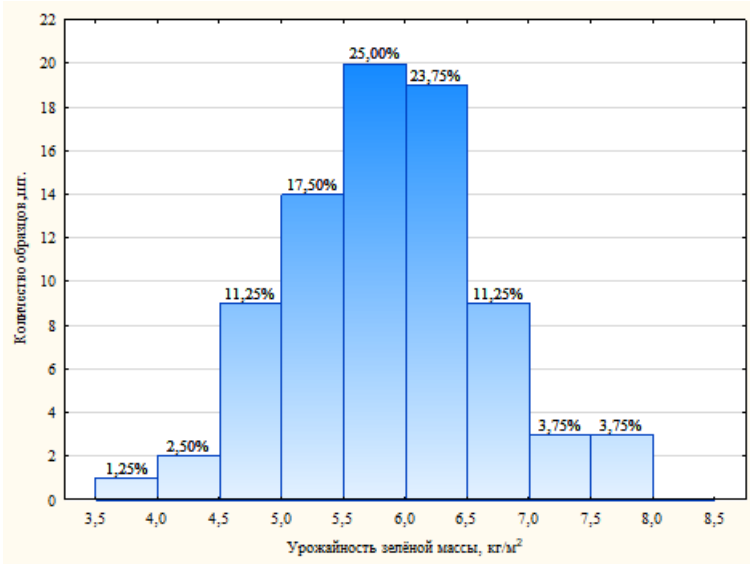


Рис. 1. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по урожайности зеленой массы (2019–2023 гг.)
Fig. 1. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to green mass productivity (2019–2023)

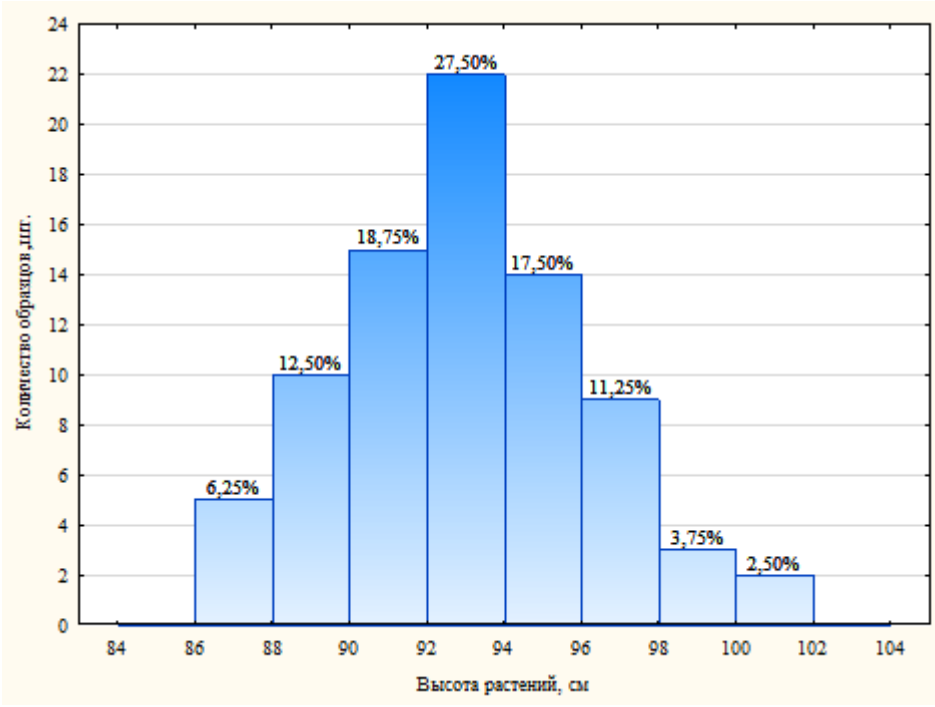


Рис. 2. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по высоте растений (2019–2023 гг.)
Fig. 2. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to plant height (2019–2023)

Проведенные исследования позволили установить, что большинство образцов (81,25 %) коллекционного питомника оказались высокорослыми (более 90 см). Выделены популяции, которые превысили стандартный сорт Ростовская 90 (94,0 см) более чем на 5 см: 100,3 см – Saga (Канада), 101,0 см – Г-5 (Россия), 100, 0 см – Син 4 (Россия).

В результате изучения коллекционного материала люцерны выделены образцы, которые могут быть использованы в качестве высокорослого исходного материала в дальнейшем селекционном процессе.

По питательности листья значительно превосходят другие части растений люцерны, что делает облиственность ценным хозяйственным признаком. Проведенные исследования позволили установить варьирование этого признака у изучаемых образцов от 38,8 % (Tomahawk (Канада)) до 50 % (Син 6 (Россия)) (рис. 3).

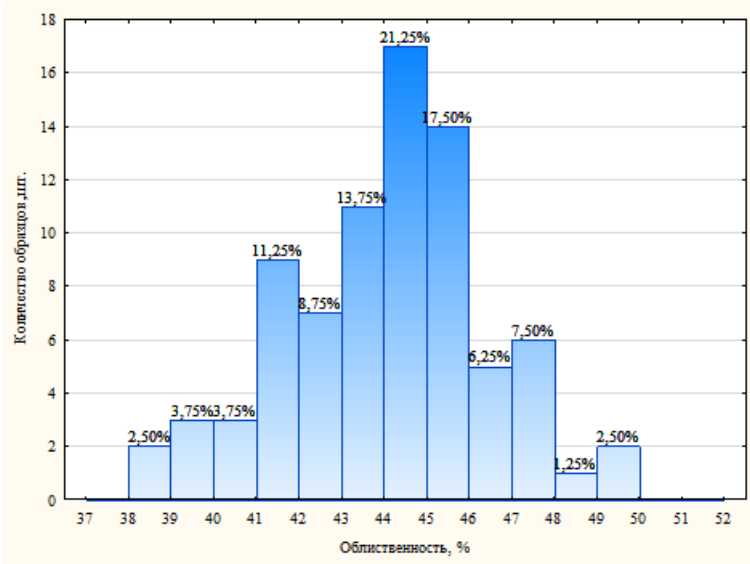


Рис. 3. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по облиственности растений (2019–2023 гг.)
Fig. 3. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery by plant foliage (2019–2023)

Основное количество коллекционных образцов (72,5 %) сформировали облиственность от 41,0 до 46,0 %. У сорта Ростовская 90 значения этого признака составили 41,8 %.

Поскольку чем выше облиственность у сорта перед укосом, тем выше его продуктивность и питательность сена, то, несомненно, наиболее ценными источниками для селекции являются популяции с высокой выраженностью этого признака. Максимальными значениями в среднем за годы исследований характеризовались следующие образцы: Син 6 (Россия) – 50,0 %, Pickstar (Канада) – 49,5 %, Смуглянка (Украина) – 48,3 %, Rhizoma (Канада) – 48,0 %, Prowler (США) – 47,8 %, АЗНИХИ-5 (Азербайджан) – 47,5 %, Veko (Канада) – 47,5 %, Скривери (Латвия) – 47,5 %, Карлыгаш (Казахстан) – 47,5 % и Син 4 (Россия) – 47,0 %, которые мы рекомендуем использовать в качестве родительских форм для повышения признака «облиственность».

Одной из основных задач в селекции люцерны для улучшения качества кормов является повышение содержания сырого протеина, так как он является основным питательным веществом, в состав которого входят белки, небелковые азотистые соединения, в том числе незаменимые аминокислоты.

В коллекционном питомнике содержание сырого протеина варьировало от 15,2 % (Viking (Канада)) до 19,3 % (ВНИИОЗ-16 (Россия)) (рис. 4).

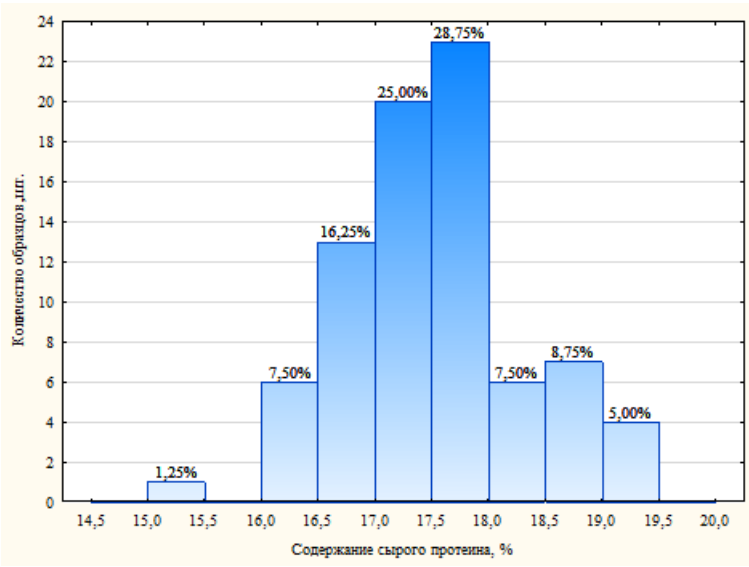


Рис. 4. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по содержанию сырого протеина (2019–2023 гг.)
Fig. 4. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to crude protein percentage (2019–2023)

У сорта стандарта Ростовская 90 отмечено 17,80 % протеина. Максимальным содержанием общего азота в зеленой массе – выше стандарта ($НСР_{0,5}$ = 0,5 %) – характеризовались популяции ВНИИОЗ-16 (Россия) – 19,30 %, Peak (США) – 19,13 %, Prowler (США) – 19,00 %, Rhizoma (Канада) – 19,01 %, Perry (США) – 18,71 %, Сирена (Россия) – 18,71 %, Сарга (Россия) – 18,61 %, Bobrava (Чехословакия) – 18,58 %, Син 5 (18,57 %), Звездочка (Россия) – 18,51 %, Син 4 (Россия) – 18,32 %.

Оценка на содержание сухого вещества в зеленой массе показала, что большинство сортов – 45 шт. (56,25 %) – имели процент его выхода на уровне и шесть образцов, или 7,5 % – выше стандарта Ростовская 90 ($НСР_{0,5}$ = 1,0 %) (рис. 5).

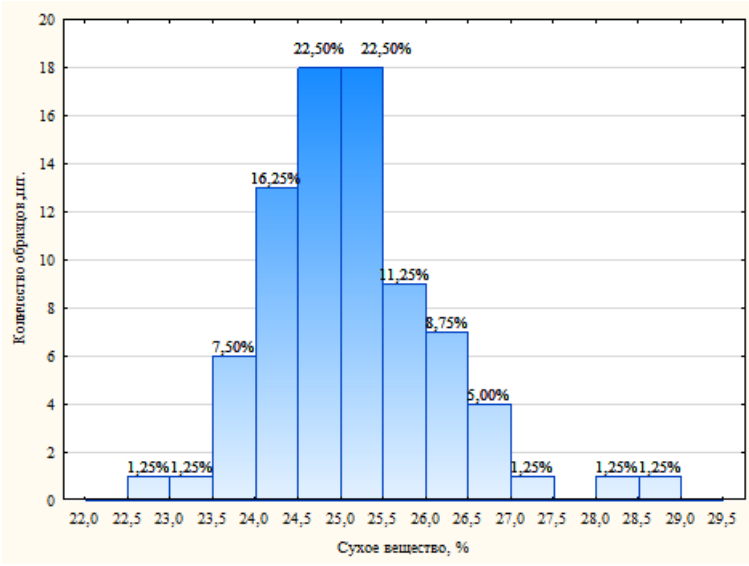


Рис. 5. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по содержанию сухого вещества (2019–2023 гг.)
Fig. 5. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to dry matter content (2019–2023)

Максимальным количеством сухого вещества характеризовались сорта Син 4 (Россия) – 28,71 %, Син 5 (Россия) – 28,49 %, Сибирячка 232 (Россия) – 27,12 %, Caraveli (Перу) – 26,74 % и Донская 5 (Россия) – 26,70 %, которые мы рекомендуем использовать в процессе селекционной работы.

Минеральные вещества влияют на процессы обмена веществ (переваривание, всасывание и усвоение корма). Уровень концентрации этих веществ характеризуется величиной сырой золы. Как показали исследования, варьирование данного признака выявлено от 7,9 % (Херсонская 9 (Украина)) до 10,4 % (Камалинская 930 (Россия)) (рис. 6).

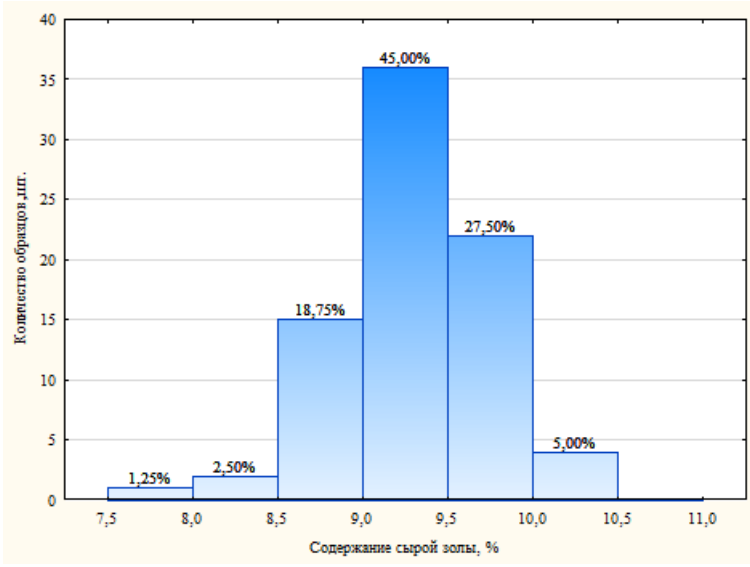


Рис. 6. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по содержанию сырой золы (2019–2023 гг.)
Fig. 6. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to crude ash content (2019–2023)

По показателю сырой золы лидировало сухое вещество коллекционных образцов ($НСР_{05}$ = 0,45 %): Камалинская 930 (Россия) – 10,42 %, Тибетская (Казахстан) – 10,40 %, Син 5 (Россия) – 10,34 %, ВНИИОЗ-16 (Россия) – 10,24 %, Viking (Канада) – 9,99 %, Синегибридная 1316 (Россия) – 9,93 %, Карлыгаш (Казахстан) – 9,96 %, Коммерческий (США) – 9,87 %, Серафима (Украина) – 9,86 %, Сирена (Россия) – 9,83 %, Звездочка (Россия) – 9,83 %, Magda (Чехословакия) – 9,75 %, Prowler (США) – 9,77 % и Sonora 76 (США) – 9,77 %. У сорта-стандарта Ростовская 90 отмечено 9,38 % содержания сырой золы в сухом веществе.

Сырой жир – важный и обязательный компонент живых клеток и запасающих органов растений, который необходим животным для нормализации процесса пищеварения. Основной компонент жиров, определяющий их свойства, – жирные кислоты. В организме эти соединения отвечают за целостность клеточных мембран и участвуют в синтезе гормонов. Жиры нужны для нормального всасывания жирорастворимых витаминов A, D, E и K в желудочно-кишечном тракте животных.

Проведенные исследования позволили установить, что содержание сырого жира коллекционных образцов варьировало от 1,22 % (Тибетская (Казахстан)) до 2,52 % (Син 4 (Россия)) (рис. 7).

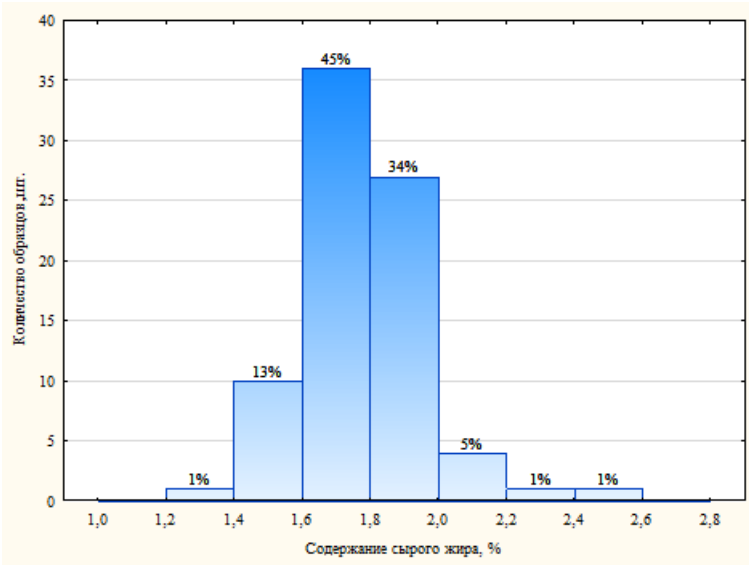


Рис. 7. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по содержанию сырого жира (2019–2023 гг.)
Fig. 7. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to crude fat content (2019–2023)

Наиболее высокая концентрация сырого жира в сухом веществе выявлена у сортов, которые превысили стандарт Ростовская 90 (1,75 %) ($НСР_{05}$ = 0,2 %): Ставропольская 430 (Россия) – 1,95 %, Rhizoma (Канада) – 2,00 %, Palava (Чехословакия) – 1,95 %, Hunterfield (Австралия) – 2,16 %, Сарга (Россия) – 2,05 %, Г-1 (Россия) – 1,96 %, Алия (Казахстан) – 1,97 %, Г-4 (Россия) – 1,99 %, Донская 5 (Россия) – 2,01 %, Син 4 (Россия) – 2,52 % и Син 5 (Россия) – 2,32 %.

Клетчатка – основная часть оболочек растительных клеток, состоящая из целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, является важным показателем качества корма. Так как клетчатка переваривается хуже других питательных веществ, увеличение ее содержания снижает питательность корма (Иванова, 2022).

Анализ лабораторных исследований свидетельствует о том, что все изучаемые образцы содержали высокий процент сырой клетчатки, ее концентрация изменялась от 33,52 % (Син 5 (Россия)) до 46,12 % (Viking (Канада)) (рис. 8).

Высокий процент содержания клетчатки связан с погодно-климатическими условиями, которые сложились с процесса начала весеннего отрастания до бутонизации и цветения (Алабушев и др. 2012). Жаркая погода, сопровождаемая засухой, приводит к снижению количества побегов в растениях, уменьшению листовой поверхности и продолжительности их жизни. Потери урожая и увеличение клетчатки под воздействием жары связаны также со снижением интенсивности и даже прекращением фотосинтеза.

Для селекционного процесса представляют интерес образцы, которые сформировали минимальное количество клетчатки: Син 4 (Россия) – 33,76 %, Син 5 (Россия) – 33,46 % и Син 6 (Россия) – 34,87 %. У сорта Ростовская 90 отмечено 41,53 % клетчатки в сухом веществе.

Важными элементами питательной ценности кормов является группа безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), которые состоят из легкопереваримых углеводов – крахмала, простых сахаров, органических кислот.

Биохимические исследования позволили выявить варьирование БЭВ от 26,1 % (ВНИИОЗ-16 (Россия)) до 37,3 % (Син 6 (Россия)) (рис. 9).

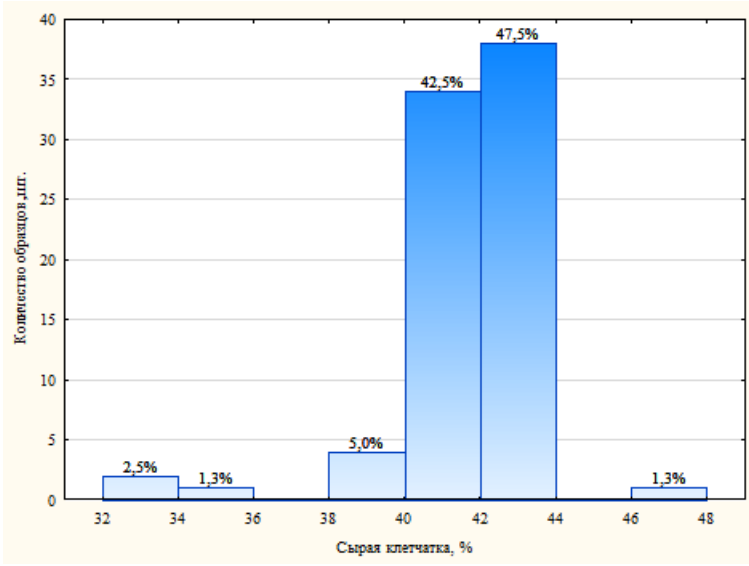


Рис. 8. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по содержанию сырой клетчатки (2019–2023 гг.)
Fig. 8. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to crude fiber content (2019–2023)

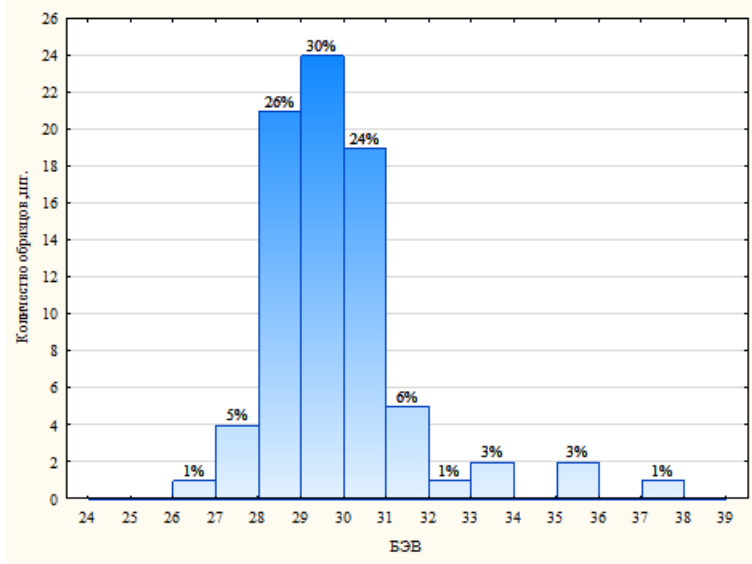


Рис. 9. Распределение сортов люцерны в коллекционном питомнике по содержанию БЭВ (2019–2023 гг.)
Fig. 9. Distribution of alfalfa varieties in the collection nursery according to NFE content (2019–2023)

Выделены источники с максимальным содержанием безазотистых экстрактивных веществ в сухом веществе, которые превысили стандарт (29,55 %) (НСР05 = 1,80 %) и которые мы рекомендуем использовать в процессе селекции люцерны: Син 6 (Россия) – 37,3 %, Ташкентская 1 (Казахстан) – 31,6 %, Полтавская гибридная (Украина) – 32,5 %, Херсонская 9 (Украина) – 33,1 %, Hunterfield (Австралия) – 31,4 %, Vangard (США) – 31,4 %, Алия (Казастан) – 31,7 %, Донская 5 (Россия) – 33,9 %, Син 4 (Россия) – 35,8 %, Син 5 (Россия) – 35,3 % и Син 6 (Россия) – 37,3 %.

В результате проведенных исследований биохимического состава зеленой массы образцов различного эколого-географического происхождения выделены популяции, которые по нескольким признакам превышали стандарт и представляют практический интерес для дальнейшей работы (см. таблицу).

Образцы люцерны, выделенные по комплексу признаков (2019–2023 гг.)
Alfalfa samples identified by a set of traits (2019–2023)

Сорт	Страна происхождения	Урожай зеленой массы, кг/м^2	Облиственность, %	Высота растений, см	Содержание сырого протеина, %	Содержание сухого вещества, %	Содержание сырой золы, %	Содержание сырой клетчатки, %	Содержание сырого жира, %	БЭВ, %
Ростовская 90, st	Россия	6,9	41,8	94,0	17,80	25,68	9,38	41,53	1,75	29,55
Тибетская	Казахстан	6,3	45,3	87,3	18,14	25,00	10,40	41,46	1,22	28,79
Синегибридная 1316	Россия	6,9	42,5	91,0	17,62	24,72	9,93	42,79	1,55	28,11
Ставропольская 430	Россия	7,6	46,3	98,8	18,18	26,19	9,46	41,99	1,95	28,42
Rhizoma	Канада	6,3	48,0	90,8	19,01	24,43	9,61	42,11	2,00	27,27
Rambler	Канада	7,7	41,3	95,3	18,06	25,06	9,13	42,02	1,64	29,16
ВНИИОЗ-16	Россия	6,0	46,8	88,3	19,30	25,16	10,24	42,51	1,88	26,07
Смуглянка	Украина	7,9	48,3	96,8	18,91	25,01	9,26	41,57	1,92	28,33
Карлыгаш	Казахстан	6,0	47,5	92,0	17,62	24,36	9,96	42,58	1,78	28,06
Prowler	США	5,6	47,8	90,5	19,00	24,85	9,77	40,70	1,62	28,91
Сарга	Россия	6,2	46,0	89,0	18,61	22,96	9,13	39,44	2,05	30,76
Г-4	Россия	6,0	46,0	93,0	16,86	25,50	9,11	42,73	1,99	29,31
Донская 5	Россия	7,1	39,5	96,0	16,04	26,70	8,70	39,36	2,01	33,89
Син 4	Россия	5,8	47,0	100,0	18,32	28,71	9,56	33,76	2,52	35,84
Син 5	Россия	5,7	44,0	97,0	18,57	28,49	10,34	33,46	2,37	35,26
Син 6	Россия	5,4	50,0	94,0	17,24	26,10	9,08	34,87	1,54	37,27
$НСР_{05}$	–	0,7	2,4	3,3	0,50	1,01	0,45	1,85	0,19	1,80

Выделенные популяции будут использоваться в селекционном процессе. Наилучшей выраженностью питательной ценности зеленой массы отличались Донская 5, Син 4, Син 5 и Син 6.

Выводы. В результате проведенных исследований были выявлены источники хозяйственно ценных признаков: Тибетская (Казахстан), Синегибридная 1316 (Россия), Ставропольская 430 (Россия), Rhizoma (Канада), Rambler (Канада), ВНИИОЗ-16 (Россия), Смуглянка (Украина), Карлыгаш (Казахстан), Prowler (США), Сарга (Россия), Г-4 (Россия), Донская 5 (Россия), Син 4 (Россия), Син 5 (Россия) и Син 6 (Россия). Выделенные популяции будут использоваться для улучшения питательной ценности люцерны в селекционной программе, что позволит создать новые сорта с улучшенным качеством корма.

Другие сорта коллекционного питомника авторы статьи рекомендуют включать в селекционную работу в соответствии с принципом комплементарности как дополняющие базовые сорта по выраженности того или иного признака или свойства.

Библиографический список

1. Алабушев А. В., Игнатьев С. А., Грязева Т. В., Игнатьева Н. Г., Регидин А. А. Продуктивность сортов люцерны и эспарцета сенокосного назначения и качество произведенного из них корма // Земледелие. 2019. № 8. С. 30–32. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10807
2. Алабушев А. В., Метлина Г. В., Игнатьев С. А., Грязева Т. В., Васильченко С. А. Технологические требования производства объемистых кормов в Ростовской области. Ростов н/Д., 2012.
3. Байкалова Л. П., Кривоногова Д. В., Едимеичев Ю. Ф. Перспективные бобово-злаковые травосмеси многолетних трав для кормопроизводства Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2017. № 11(134). С. 20–26.
4. Иванова, Е. П. Урожайность и качество различных сортов люцерны в условиях Сахалина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 12 (218). С. 66–72. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-218-12-66-72
5. Игнатьев С. А., Регидин А. А. Оценка продуктивности и качества корма популяций люцерны в конкурсном сортоиспытании // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-17-22
6. Игнатьев С. А., Регидин А. А. Оценка хозяйственно-биологических признаков коллекционных образцов люцерны в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2019. № 5(65). С. 50–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-50-54
7. Игнатьев С. А., Регидин А. А., Горюнов К. Н., Грязева Т. В., Игнатьева Н. Г., Дерова Т. Г. Результаты изучения нового сорта люцерны изменчивой Сударыня // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 8. С. 25–29. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_25
8. Jia C., Zhao F., Wang X., Han J., Zhao H., Liu G., Wang Z. Genomic prediction for 25 agronomic and quality traits in alfalfa (Medicago sativa) // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9, Article number: 1220. DOI: 10.3389/fpls.2018.01220
9. Ju F. Y., Liu S. D., Zhang S. P., Ma H. J., Chen J., Ge C. W., Shen Q., Zhang X. M., Zhao X. H., Zhang Y. J. et al. Transcriptome analysis and identification of genes associated with fruiting branch internode elongation in upland cotton // BMC Plant Biology. 2019. Vol. 19, Article number: 415.
10. Sousa D. O., Hansen H. H., Hallin O., Nussio L. G., Nadeau E. A two-year comparison on nutritive value and yield of eight lucerne cultivars and one red clover cultivar // Grass and Forage Science. 2020. Vol. 75. P. 76–85.
11. Tucak M., Čupić T., Horvat D., Popović S., Krizmanić G., Ravlić M. Variation of phytoestrogen content and major agronomic traits in alfalfa (Medicago sativa L.) populations // Agronomy. 2020. Vol. 10, Article number: 87.
12. Tucak M., Ravlić M., Horvat D., Čupić T. Improvement of Forage Nutritive Quality of Alfalfa and Red Clover through Plant Breeding Agronomy. 2021. Vol. 11(11), Article number: 2176. DOI: 10.3390/agronomy11112176

References

1. Alabushev A. V., Ignat'ev S. A., Gryazeva T. V., Ignat'eva N. G., Regidin A. A. Produktivnost' sortov lyutserny i espartseta senokosnogo naznacheniya i kachestvo proizvedennogo iz nikh korma [Productivity of alfalfa and sainfoin varieties for haymaking and quality of feed produced from them] // Zemledelie. 2019. № 8. S. 30–32. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10807
2. Alabushev A. V., Metlina G. V., Ignat'ev S. A., Gryazeva T. V., Vasil'chenko S. A. Tekhnologicheskie trebovaniya proizvodstva ob"emistykh kormov v Rostovskoi oblasti [Technological requirements of bulk feed production in the Rostov region]. Rostov-n/D., 2012.
3. Baikalova L. P., Krivonogova D. V., Edimeichev Yu. F. Perspektivnye bobovo-zlakovye travosmesi mnogoletnikh trav dlya kormoproizvodstva Krasnoyarskogo kraya [Promising legume-cereal grass mixtures of perennial grasses for forage production in the Krasnoyarsk Territory] // Vestnik KrasGAU. 2017. № 11(134). S. 20–26.
4. Ivanova, E. P. Urozhainost' i kachestvo razlichnykh sortov lyutserny v usloviyakh Sakhalina [Productivity and quality of various alfalfa varieties in the conditions of Sakhalin] // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 12(218). S. 66–72. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-218-12-66-72
5. Ignat'ev S. A., Regidin A. A. Otsenka produktivnosti i kachestva korma populyatsii lyutserny v konkursnom sortoispytanii [Estimation of productivity and quality of alfalfa feed in the Competitive Variety Testing] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 1(67). S. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-17-22

6. Ignat'ev S. A., Regidin A. A. Otsenka khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov kollektsionnykh obraztsov lyutserny v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Estimation of economic and biological traits of alfalfa collection samples in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 5(65). S. 50–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-50-54

7. Ignat'ev S. A., Regidin A. A., Goryunov K. N., Gryazeva T. V., Ignat'eva N. G., Derova T. G. Rezul'taty izucheniya novogo sorta lyutserny izmenchivoi Sudarynya [Study results of the new alfalfa variety 'Sudarynya'] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 8. S. 25–29. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_25

8. Jia C., Zhao F., Wang X., Han J., Zhao H., Liu G., Wang Z. Genomic prediction for 25 agronomic and quality traits in alfalfa (Medicago sativa) // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9, Article number: 1220. DOI: 10.3389/fpls.2018.01220

9. Ju F. Y., Liu S. D., Zhang S. P., Ma H. J., Chen J., Ge C. W., Shen Q., Zhang X. M., Zhao X. H., Zhang Y. J. et al. Transcriptome analysis and identification of genes associated with fruiting branch internode elongation in upland cotton // BMC Plant Biology. 2019. Vol. 19, Article number: 415.

10. Sousa D. O., Hansen H. H., Hallin O., Nussio L. G., Nadeau E. A two-year comparison on nutritive value and yield of eight lucerne cultivars and one red clover cultivar // Grass and Forage Science. 2020. Vol. 75. P. 76–85.

11. Tucak M., Čupić T., Horvat D., Popović S., Krizmanić G., Ravlić M. Variation of phytoestrogen content and major agronomic traits in alfalfa (Medicago sativa L.) populations // Agronomy. 2020. Vol. 10, Article number: 87.

12. Tucak M., Ravlić M., Horvat D., Čupić T. Improvement of Forage Nutritive Quality of Alfalfa and Red Clover through Plant Breeding Agronomy. 2021. Vol. 11(11), Article number: 2176. DOI: 10.3390/agronomy11112176

Поступила: 01.10.24; доработана после рецензирования: 12.11.24; принята к публикации: 13.11.24.

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: Кравченко Н. С. – концептуализация исследования, подготовка рукописи, анализ данных и их интерпретация; Регидин А. А. – проведение полевого опыта; Игнатьева Н. Г. – проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.15:631.52:631.526.325 **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-21-27**

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕАКЦИИ НА ЦМС НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСТОЧНИКА СТЕРИЛЬНОСТИ И МЕТЕОУСЛОВИЙ ГОДА

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, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;
Н. А. Шевченко, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, kcck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Широкое внедрение новых гибридов кукурузы в производство возможно только при переводе их на стерильную основу. Для этого необходимы сведения о реакции линий на цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС). Цель исследований – классифицировать новые самоопыленные линии кукурузы по закрепительной и восстановительной способности на основе различных источников стерильности и контрастных условий проведения оценки. Исследования выполнены в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» в 2022–2024 годах. Условия лет проведения эксперимента оказались контрастны (ГТК = 0,49 – 2022 г., ГТК = 0,83 – 2023 г., ГТК = 0,22 – 2024 г.). В качестве источников стерильности использованы формы с различной стерилизующей способностью молдавского («М») типа: M_1, M_2; и боливийского («С») типа ЦМС: C_1, C_2. Объект исследований – 15 новых константных (I_6) самоопыленных линий кукурузы и 60 тесткроссных гибридов, полученных от анализирующих скрещиваний. Реакция самоопыленных линий зависела от источника стерильности и условий года исследований. Уровень фертильности тестеров с участием источников M_2 и C_2 был выше, чем тестеров источников C_1 и M_1. В более засушливом 2024 г. самоопыленные линии СК 7, СК 9 и СК 11 снижали уровень фертильности по «С» типу – от частичной фертильности (класс 2) до полной стерильности (класс 0) либо от полной фертильности (класс 5) до частичной фертильности (класс 3). По «М» типу снижение уровня фертильности отмечено у линий СК 11 и СК 12. Выделены новые самоопыленные линии кукурузы: СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14 и СК 15, являющиеся закрепителями стерильности «М» типа ЦМС. Эти линии представляют ценность в качестве материнских форм при переводе на стерильную основу гибридов кукурузы, созданные с их участием. Выделены линии СК 5 и СК 9 – естественные восстановители фертильности «М» типа, представляющие ценность для использования в качестве отцовских форм гибридов. По отношению к «С» типу ЦМС наибольший интерес представляют закрепители стерильности СК 5, СК 12, СК 14 и константные восстановители фертильности СК 2, СК 3, СК 6, СК 10 и СК 13.

Ключевые слова: *кукуруза (Zea Mays L.), самоопыленные линии, тесткроссные гибриды, восстановители фертильности, закрепители стерильности.*

Для цитирования: *Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Шевченко Н. А. Изменчивость реакции на ЦМС новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от источника стерильности и метеоусловий года // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 21–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-21-27.*

(cc) BY

VARIABILITY OF NEW SELF-POLLINATED MAIZE LINES' RESPONSE TO CMS DEPENDING ON THE STERILITY SOURCE AND WEATHER CONDITIONS OF THE YEAR

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, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;
N. A. Shevchenko, technician-researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, kcck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The wide introduction of new maize hybrids into production is possible only if they are transferred to a sterile basis. This requires data on the lines' response to cytoplasmic male sterility (CMS). The purpose of the current study was to classify new self-pollinated maize lines according to their ability to fix and restore based on various sources of sterility and contrasting weather conditions during the conducted estimation. The study was carried out at the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" in 2022–2024. The conditions during the study were contrasting (HTC = 0.49 – 2022, HTC = 0.83 – 2023, HTC = 0.22 – 2024). As the sterility sources there were used the forms M_1 and M_2 with different sterilizing capacity of the Moldavian ('M') type, and the forms C_1, C_2 with different sterilizing capacity of the Bolivian ('C') type of CMS. The objects of the study were 15 new constant (I_6) self-pollinated maize lines and 60 test-cross hybrids obtained from analyzed crossings. The response of the self-pollinated lines depended

on the source of sterility and the weather conditions of the year of study. The fertility level of testers with the participation of the sources M_2 and C_2 was higher than that of testers of the sources C_1 and M_1. In the arid year of 2024, the self-pollinated lines SK 7, SK 9 and SK 11 reduced the fertility level according to the 'C' type from partial fertility (class 2) to complete sterility (class 0), or from complete fertility (class 5) to partial fertility (class 3). According to the 'M' type, there was a fertility decrease in the lines SK 11 and SK 12. There have been identified such new self-pollinated maize lines as SK 1, SK 6, SK 7, SK 8, SK 14 and SK 15, which are sterility fixers of the 'M' type of CMS. These lines are valuable as maternal forms when transferring maize hybrids developed with their participation to a sterile basis. There have been identified the lines SK 5 and SK 9 as the natural fertility restorers of the 'M' type, which are valuable for use as paternal forms of hybrids. According to the 'C' type of CMS, the sterility fixers SK 5, SK 12, SK 14 and the constant fertility restorers SK 2, SK 3, SK 6, SK 10 and SK 13 are of the greatest interest.

Keywords: *maize (Zea Mays L.), self-pollinated lines, testcross hybrids, fertility restorers, sterility fixers.*

Введение. Широкое внедрение новых гибридов кукурузы в сельскохозяйственное производство предполагает необходимость перевода гибридов на стерильную основу. Для успешного выполнения такой работы требуется получение сведений о реакции самоопыленных линий кукурузы на стерильную цитоплазму различных типов ЦМС. О необходимости оценки реакции на ЦМС создаваемых новых линий кукурузы утверждают российские селекционеры Хатефов и др. (2019), отмечая, что такие сведения являются важнейшими для характеристики новых линий.

В научно-исследовательских учреждениях Российской Федерации, занимающихся селекцией кукурузы, непременно ведутся такие работы. При этом часто параллельно изучаются различные вопросы, касающиеся перевода гибридов кукурузы на стерильную основу.

Для повышения надежности оценок реакции линии на ЦМС предлагается использовать различные источники стерильности, проверенные в предыдущих исследованиях (Krivosheev and Ignatyev, 2022).

Повысить эффективность работы по созданию стерильных аналогов и восстановителей фертильности, используемых при производстве гибридных семян кукурузы, возможно благодаря использованию различных типов ЦМС (Кибальник и Эльконин, 2020).

Изучена возможность совмещения создания новых практически ценных гибридных комбинаций с одновременной оценкой реакции новых линий на ЦМС. Для этого необходим специальный подбор тесткроссов – источников стерильности с высокой комбинационной способностью (Кривошеев и Игнатьев, 2019).

Увеличение генетического разнообразия исходного материала предполагает увеличение работ по изучению реакции ЦМС и получению достоверных результатов оценки (Хатефов и др., 2018). Установлено влияние происхождения самоопыленных линий на реакцию ЦМС. Подбирая исходный материал для закладки новых линий, возможно повысить вероятность получения закрепителей или восстановителей (Кривошеев и Игнатьев, 2023).

Несмотря на то что зарубежные селекционно-семеноводческие фирмы ведут семеноводство преимущественно на фертильной основе, но исследования по ЦМС ведутся и за рубежом. Некоторые исследователи проявляют интерес к возможности использования ЦМС в семеноводстве (Fox et al, 2017). В первую очередь их интересует проявление стабильности стерильности различных типов ЦМС (Loussaert et al, 2017, Zhang et al., 2020).

В литературе ограничены сведения о стабильной реакции самоопыленных линий кукурузы на стерильность в зависимости от условий выращивания. Вместе с тем, такая информация повысит надежность получаемых результатов оценки. Кроме того, известно, что используя различные источники стерильности, можно получить совершенно различные результаты оценки, что также обуславливает необходимость изучения этого аспекта.

Цель исследований – классифицировать новые самоопыленные линии кукурузы по закрепительной и восстановительной способности на основе различных источников стерильности и контрастных условий проведения оценки.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2022–2024 годах. Почва экспериментального участка – чернозем обыкновенный карбонатный мощностью 120 см и с содержанием гумуса 3,2–3,3 % (Репка и др., 2020).

Объект исследований – 15 новых константных самоопыленных линий кукурузы (I_6). Для проведения анализирующих скрещиваний специально подобраны тестеры – источники стерильности с различной стерилизующей способностью: по молдавскому («М») типу – M_1 и M_2, по боливийскому «С» типу – C_1 и C_2. Стерилизующая способность у источников M_1 и C_1 выше, чем у источников M_2 и C_2.

От анализирующих скрещиваний стерильных источников с линиями в 2021 г. получено 60 тесткроссных гибридов кукурузы, которые изучены по характеру цветения метелок в 2022–2024 годах. Для получения гибридов использовали метод полных топкроссов. Оценку уровня фертильности растений проводили по шкале Гонтаровского (1971). Класс 0 и 1 имели полностью стерильные растения, класс 2 – от 25 до 75 %, класс 3 – от 25 до 75 %, 4 класс – более 75 %, 5 класс – 100 % фертильных пыльников.

К стерильным (С) отнесены классы 0 и 1, к частично фертильным (ЧФ) – классы 2 и 3, к фертильным (Ф) – классы 4 и 5.

Годы проведения исследований оказались контрастными по метеоусловиям, различаясь по температурному режиму и влагообеспеченности (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические условия проведения исследований
Table 1. Weather conditions during the study

Климатические параметры	май	июнь	июль	август	май – август
2022 год					
Осадки, мм	21,7	7,4	55,8	47,2	132,1
Среднемесячная температура воздуха, ˚С	14,8	23,1	23,8	26,6	22,1
ГТК	0,70	0,11	0,76	0,57	0,49
2023 год					
Осадки, мм	110,4	37,0	51,3	19,5	218,2
Среднемесячная температура воздуха, ˚С	15,6	20,4	23,6	25,6	21,8
ГТК	2,28	0,60	0,70	0,25	0,83
2024 год					
Осадки, мм	22,2	13,1	25,0	3,5	63,8
Среднемесячная температура воздуха, ˚С	15,7	24,7	27,6	25,4	23,4
ГТК	0,46	0,18	0,29	0,04	0,22
Среднемноголетние значения					
Осадки, мм	51,3	71,3	57,7	45,2	225,5
Среднемесячная температура воздуха, ˚С	16,5	20,5	23,1	21,9	20,5
ГТК	1,00	1,16	0,81	0,67	0,89

ГТК в 2022 г. составил 0,49, в 2023 г. – 0,83, в 2024 г. – 0,22. Для оценки характера цветения метелок большое значение имеет то, какие погодные условия сложились в целом в течение года и в период цветения, то есть в июле. ГТК в июле в 2022–2024 гг. составил 0,76; 0,70; 0,29 соответственно.

То есть наиболее жаркие и засушливые погодные условия в целом за год и в июле сложились в 2024 году. В 2022 и 2023 гг. в период цветения метелок были примерно одинаковые условия, более благоприятные, чем в 2024 году.

Результаты и их обсуждение. Гибриды кукурузы, полученные от анализирующих скрещиваний источников стерильности молдавского типа ЦМС с новыми самоопыленными линиями, были изучены по характеру цветения метелок в 2022–2024 годах. Проведенные исследования позволили определить реакцию линий на этот тип стерильности. Реакция новых линий кукурузы зависела от источника стерильности и от условий года проведения оценок. Однако во многих случаях отмечено полное совпадение оценок независимо от используемого источника и года изучения.

Выделены новые самоопыленные линии кукурузы СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14, СК 15, тесткроссные гибриды которых, полученные от скрещивания с любым источником стерильности, во все годы исследований имели стерильное потомство (класс 0, 1) (табл. 2).

Таблица 2. Реакция самоопыленных линий кукурузы на стерильность молдавского типа ЦМС
Table 2. Self-pollinated maize lines' response to the sterility of the Moldovan type of CMS

Линии	Уровень фертильности в классах					
	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2
СК 1	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 2	С (0)	ЧФ (2, 3)	С (0)	ЧФ (2, 3)	С (0)	С (0)
СК 3	ЧФ (3)	Ф (4)	ЧФ (3)	Ф (4)	ЧФ (2)	ЧФ (3)
СК 4	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)
СК 5	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (4)
СК 6	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (0)
СК 7	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 8	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)
СК 9	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4)
СК 10	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	ЧФ (2)
СК 11	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	С (0)
СК 12	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	С (1)	ЧФ (2)
СК 13	ЧФ (2)	ЧФ (5)	ЧФ (2)	ЧФ (5)	ЧФ (2)	Ф (4)
СК 14	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)
СК 15	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (1)

Примечание. M_1 и M_2 – источники стерильности; 1, 2, 3, 4, 5 – классы по шкале Гонтаровского; С – стерильные, ЧФ – частично фертильные, Ф – фертильные.

Полученные результаты позволяют утверждать, что в любых условиях в скрещивании с любыми стерильными формами эти линии будут закреплять стерильность молдавского

типа. Они являются ценными линиями при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу.

Все тесткроссные гибриды других линий (СК 5 и СК 9) независимо от источника стерильности и года изучения характеризовались высоким уровнем фертильности (класс 4, 5). Эти линии также следует считать наиболее ценными для перевода гибридов на стерильную основу. В любой комбинации скрещивания будут восстанавливать фертильность этого типа.

Остальные линии отличались неоднозначной реакцией на стерильную цитоплазму «М» типа. Их реакция зависела от используемого источника стерильности, а в некоторых случаях и от условий года проведения оценки. Как правило, эти линии имели ниже уровень фертильности, а иногда и полную стерильность, в скрещиваниях с источником M_1, чем с источником M_2, чаще всего тесткроссы этих линий имели частично фертильные растения (класс 2, 3). Уровень фертильности у тесткроссов линий СК 3 и СК 13 варьировал от частичной до полной фертильности (класс 2–5), то есть эти линии восстанавливают фертильность в зависимости от комбинации скрещивания и условий испытания. Реакция у группы линий СК 2, СК 4, СК 10, СК 11 и СК 12 варьировала от полной стерильности до частичной фертильности (класс 0–3). Это означает, что эти линии не всегда полностью закрепляли стерильность.

Особый интерес представляет выявление изменчивости реакции линий на стерильную цитоплазму в зависимости от условий проведения исследований. Это позволит удостовериться в надежности получаемых оценок. Новые самоопыленные линии СК 2, СК 3, СК 11 и СК 12 в засушливых и более жарких условиях 2024 г. по сравнению с 2022 и 2023 гг. значительно изменили оценки уровня фертильности. Так, тесткроссы линий СК 2 и СК 11 с источником M_2 в 2022 и 2023 гг. были частично фертильными (класс 2, 3), а в 2024 г. – стерильными (класс 0). Тесткроссы линий СК 3 с источником M_2 в 2022–2023 гг. были фертильны (класс 4), а в 2024 г. – частично стерильными. Тесткроссы линий СК 12 от скрещивания с источником M_1 частично фертильны (класс 2) в 2022 и 2023 гг., а в 2024 г. – стерильны (класс 1).

Таким образом, некоторые линии реагировали на метеоусловия лет проведения оценок. В засушливых жарких условиях у них происходило снижение уровня фертильности, что необходимо учитывать при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу.

Оценка уровня фертильности тесткроссных гибридов кукурузы, полученных от скрещивания источников стерильности «С» типа ЦМС с линиями, позволила оценить реакцию на этот тип ЦМС. Реакция на стерильную цитоплазму у большинства линий изменилась в зависимости от источника стерильности и условий года (табл. 3).

Таблица 3. Реакция самоопыленных линий кукурузы на стерильность боливийского типа ЦМС
Table 3. Self-pollinated maize lines' response to the sterility of the Bolivian type of CMS

Линии	Уровень фертильности в классах					
	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	C_1	C_2	C_1	C_2	C_1	C_2
СК 1	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (2,3)	Ф (4)
СК 2	Ф (5)	Ф (3)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (5)
СК 3	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (5)
СК 4	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (2)
СК 5	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 6	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (5)
СК 7	ЧФ (2)	ЧФ (2)	ЧФ (2)	ЧФ (2)	С (0)	С (0)
СК 8	ЧФ (3)	Ф (4)	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (2)	Ф (4)
СК 9	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (2)	С (0)	ЧФ (2)
СК 10	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (4,5)
СК 11	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (2)	ЧФ (3)
СК 12	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 13	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (4,5)
СК 14	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 15	ЧФ (3)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (2)

Примечание. C_1 и C_2 – источники стерильности; 1, 2, 3, 4, 5 – классы по шкале Гонтаровского; С – стерильные, ЧФ – частично фертильные, Ф – фертильные.

Выделены новые самоопыленные линии СК 5, СК 12 и СК 14 со стабильной реакцией: все тесткроссы этих линий независимо от используемого источника стерильности и метеоусловий года испытания показали полную стерильность (класс 0). Ценность этих линий заключается в том, что они очень удобны для создания стерильных аналогов.

Вторая группа линий – СК 2, СК 3, СК 6, СК 10, СК 13 со стабильной реакцией на стерильную цитоплазму боливийского типа ЦМС характеризовалась высоким уровнем фертильности (класс 4, 5) всех тесткроссов во все годы проведения исследований. Такие линии будут полностью восстанавливать фертильность в скрещиваниях с любыми стерильными формами.

Линии СК 4 и СК 15 отличались стабильной частичной фертильностью (класс 2, 3) потомств от скрещивания.

Остальные линии характеризовались изменчивостью реакции линий на стерильность «С» типа. Так, новые линии СК 1, СК 8 и СК 11 восстанавливали фертильность, но уровень восстановления зависел от комбинации скрещивания и условий проведения оценки, варьируя от класса 2 до класса 5.

Самоопыленные линии СК 7 и СК 9 изменяли реакцию от частичной фертильности (класс 2,3) до полной стерильности в зависимости от метеоусловий года проведения исследований. В 2022 и 2023 гг. в анализирующих скрещиваниях с источником C_2 получены частично фертильные растения, а в 2024 г. с тем же источником – полностью стерильные. Еще одна линия СК 11 изменила реакцию на «С» тип ЦМС при смене условий проведения оценки. В 2023 и 2024 гг. ее тесткроссный гибрид от скрещивания с источником С2 имел высокий уровень фертильности (класс 5), а в более засушливых и жарких условиях 2024 г. уровень фертильности того же тесткроссного гибрида снизился до частичной фертильности (класс 3).

Таким образом, уровень фертильности может снижаться при ухудшении условий цветения и пыльцеобразования. Однако реакция линий кукурузы на эти изменения индивидуальна, что предполагает необходимость индивидуальной оценки каждой новой линии.

Оценка реакции линий на стерильную цитоплазму молдавского и боливийского типов позволила классифицировать их по восстановительной и закрепительной способности (табл. 4).

Таблица 4. Классификация новых самоопыленных линий кукурузы по восстановительной и закрепительной способности (2022–2024 гг.)
Table 4. Classification of the new self-pollinated maize lines according to their ability to recover and fix (2022–2024)

Линии	Группы самоопыленных линий по восстановительной и закрепительной способности	
	«М» тип ЦМС	«С» тип ЦМС
СК 1	ЗМ	ВС (в)
СК 2	НЗМ	ВС (к)
СК 3	НВМ	ВС (к)
СК 4	НЗМ	НЗС
СК 5	ВМ	ЗС
СК 6	ЗМ	ВС (к)
СК 7	ЗМ	НЗС
СК 8	ЗМ	ВС (в)
СК 9	ВМ	НЗС
СК 10	НЗМ	ВС (к)
СК 11	НЗМ	ВС (в)
СК 12	НЗМ	ЗС
СК 13	НВМ	ВС (к)
СК 14	ЗМ	ЗС
СК 15	ЗМ	НЗС

Примечание. ЗМ – закрепитель «М» типа; НЗМ – неполный закрепитель «М» типа; НВМ – неполный восстановитель «М» типа; ВМ – неполный закрепитель «М» типа; ВС (к) – константный восстановитель «С» типа; ВС (в) – вариабельный восстановитель «С» типа; НЗС – неполный закрепитель «С» типа; ЗС – закрепитель «С» типа.

К закрепителям стерильности «М» типа ЦМС (ЗМ) отнесены самоопыленные линии СК 1, СК 6, СК 7, СК8, СК 14 и СК 15. Они могут быть использованы в трехлинейных гибридах (А М × Б ЗМ) × С МВ, переведенных на стерильную основу, в качестве отцовской формы (Б ЗМ) простого стерильного гибрида АМ × Б ЗМ, являющегося материнской формой. Кроме того, в случае необходимости не возникает проблем создания стерильных аналогов по этим линиям.

К восстановителям фертильности «М» типа (ВМ) отнесены линии СК 5 и СК 9. Их можно использовать в качестве отцовских форм простых или трехлинейных гибридов. Это значительно упростит перевод гибридов на стерильную основу, поскольку эти линии являются естественными восстановителями фертильности.

Неполными закрепителями фертильности молдавского типа ЦМС (НЗМ) являются линии СК 2, СК 3, СК 4, СК 11 и СК 12, неполными восстановителями (НВМ) – СК 3 и СК 13. Создание стерильных аналогов по ним сопряжено со сложностями – необходимо сначала создать их аналоги-закрепители, а в случае необходимости использования их в качестве отцовских форм требуется создание аналогов-восстановителей фертильности.

Подобная классификация новых линий выполнена и по «С» типу ЦМС. Выделены закрепители стерильности СК 5, СК 12 и СК 14, которые при переводе гибридов кукурузы на стериль-

ную основу по боливийскому типу возможно использовать непосредственно в качестве естественных закрепителей или создать по ним стерильные аналоги.

Константным естественным восстановителем фертильности «С» типа ЦМС (ВС (к)) СК 2, СК 3, СК 6, СК 10, СК 13 можно использовать в качестве отцовских форм, восстанавливающих фертильность в любой комбинации скрещиваний. Вариабельные восстановители ВС (в): СК 1, СК 8 и СК 11. Также возможно использование в качестве отцовских форм, но с обязательной проверкой их восстановительной способности в каждой гибридной комбинации.

Неполные закрепители стерильности «С» типа ЦМС (НЗС) СК 4, СК 7 и СК 15 не могут быть непосредственно использованы в гибридах, переведенных на стерильную основу. Следует отказаться от работы с этими линиями или создавать по ним аналоги закрепители стерильности, либо аналоги восстановительной способности, что требует значительных усилий и времени.

Использование источников различной стерилизующей способности, а также оценка уровня фертильности в годы, контрастные по погодным условиям, позволила получить надежные результаты и классифицировать новые линии. А это, в свою очередь, упростит перевод на стерильную основу гибридов кукурузы, созданных с участием этих линий.

Выводы. Выделены новые самоопыленные линии кукурузы СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14 и СК 15, являющиеся закрепителями стерильности «М» типа ЦМС. Эти линии представляют ценность при переводе на стерильную основу гибридов кукурузы, созданных с их участием. Предпочтительно использование их в качестве материнских форм.

Выделены линии СК 5 и СК 9 – естественные восстановители фертильности «М» типа, представляющие ценность для использования в качестве отцовских форм гибридов.

По отношению к «С» типу ЦМС наибольший интерес представляют закрепители стерильности СК 5, СК 12, СК 14 и контрастные восстановители фертильности СК 2, СК 3, СК 6, СК 10 и СК 13.

Реакция самоопыленных линий зависела от стерилизующей способности источника и условий года изучения. Эта реакция была индивидуальна для каждой линии. Использование различных источников и оценка уровня фертильности в контрастные по метеоусловиям годы позволила получить надежные результаты оценки.

Библиографический список

1. Гонтаровский, В. А. Генетическая классификация источников цитоплазматической мужской стерильности у кукурузы // Генетика. 1971. № 9. С. 22–30.

2. Кибальник О. П., Эльконин Л. А. Влияние разных типов стерильных цитоплазм (А3, А4, 9Е) на комбинационную способность ЦМС-линий сорго // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(6). С. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648

3. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Восстановительная и закрепительная способность линий кукурузы в стерильной цитоплазме «М» и «С» типов ЦМС // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2(62). С. 38 – 41. DOI 10.31367/2079-8725-2019-62-2-38-41

4. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Зависимость реакции на ЦМС линий кукурузы от их происхождения // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89- 6-5-11

5. Репка Д. А., Бельтюков Л. П., Кувшинова Е. К., Потапов Е. А. Эффективность применения биопрепаратов на сортах озимой пшеницы в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 72–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-72-76

6. Хатефов Э. Б., Керв Ю. А., Бойко В. Н., Головина М. А., Аппаев С. П. Расширение генетического полиморфизма исходного селекционного материала кукурузы методом рединлоидизации тетраплоидных популяций // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4(16). С. 192–203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18

7. Хатефов Э. Б., Шомахов Б. Р., Кушхова Р. С., Кудаев Р. А., Хаширова З. Т., Гяургиев А. Х. Характеристика рединлоидных линий кукурузы селекции ВИР по комбинационной способности и реакции на ЦМС // Биотехнология и селекция растений. 2019. № 2(4). С. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-o?2

8. Fox T., DeBruin J., Collet K. H., Trimnell M., Clapp J., Leonard A., Li B., Scolaro E., Collinson S., Glassman K., Mille M., Schussler J., Dolan D., Liu L., Gho C., Albertsen M., Bo Shen D. L. A single point mutation in Ms44 results in dominant male sterility and improves nitrogen use efficiency in maize // Plant Biotechnology Journal. 2017. Vol. 15, Iss. 8. P. 942–952. DOI: 10.1111/pbi.12689

9. Krivosheev G. Ya., Ignatyev A. S. The response of maize lines to the Paraguay type of CMS // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Vol. 11(226). P. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-38-45

10. Loussaert D., DeBruin J., San Martin J. P., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T., Albertsen M., Trimnell M., Collinson S., Shen B. Genetic male sterility (Ms44) increases maize grain yield // Crop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2718–2728. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654

11. Zhang H., Cui G, Wang C., Wang X, Hao Y, Du J, Wang Y, Sun Y. Breeding and Characteristics of Maize Male Sterile Line Jinyu 1A // Chinese Journal of Agricultural Sciences. 2020. Vol. 53(21), P. 4322–4332 DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

References

1. Gontarovskii, V. A. Geneticheskaya klassifikatsiya istochnikov tsitoplazmaticheskoi muzhskoi steril'nosti u kukuruzy [Genetic classification of cytoplasmic male sterility sources in maize] // Genetika. 1971. № 9. S. 22–30.

2. Kibal'nik O. P., El'konin L. A. Vliyanie raznykh tipov steril'nykh tsitoplazm (A3, A4, 9E) na kombinatsionnuyu sposobnost' TsMS-linii sorgo [Effect of different types of sterile cytoplasms (A3, A4, 9E) on the combining ability of CMS of sorghum lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2020. № 24(6). S. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648

3. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Vosstanovitel'naya i zakrepitel'naya sposobnost' linii kukuruzy v steril'noi tsitoplazme «M» i «S» tipov TsMS [Restorative and fixing ability of maize lines in sterile cytoplasm of “M” and “C” types of CMS] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 2(62). S. 38–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-38-41

4. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Zavisimost' reaktsii na TsMS linii kukuruzy ot ikh proiskhozhdeniya [Dependence of maize lines’ reaction to CMS on their origin] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89- 6-5-11

5. Repka D. A., Bel'tyukov L. P., Kuvshinova E. K., Potapov E. A. Effektivnost' primeneniya biopreparatov na sortakh ozimoi pshenitsy v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Efficiency of using bioproducts on winter wheat varieties in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 1(67). S. 72–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-72-76

6. 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 original maize breeding material by rediploidization of tetraploid populations] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2018. № 4(16). S. 192–203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18

7. Khatefov E. B., Shomakhov B. R., Kushkhova R. S., Kudaev R. A., Khashirova Z. T., Gyaurgiev A. Kh. Kharakteristika rediploidnykh linii kukuruzy selektsii VIR po kombinatsionnoi sposobnosti i reaktsii na TsMS [Characteristics of rediploid maize lines bred at VIR according to combining ability and reaction to CMS] // Biotekhnologiya i selektsiya rastenii. 2019. № 2(4). S. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-o?2

8. Fox T., DeBruin J., Collet K. H., Trimnell M., Clapp J., Leonard A., Li B., Scolaro E., Collinson S., Glassman K., Mille M., Schussler J., Dolan D., Liu L., Gho C., Albertsen M., Bo Shen D. L. A single point mutation in Ms44 results in dominant male sterility and improves nitrogen use efficiency in maize // Plant Biotechnology Journal. 2017. Vol. 15, Iss. 8. P. 942–952. DOI: 10.1111/pbi.12689

9. Krivosheev G. Ya., Ignatyev A. S. The response of maize lines to the Paraguay type of CMS // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Vol. 11(226). P. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-38-45

10. Loussaert D., DeBruin J., San Martin J. P., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T., Albertsen M., Trimnell M., Collinson S., Shen B. Genetic male sterility (Ms44) increases maize grain yield // Srop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2718–2728. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654

11. Zhang H., Cui G., Wang C., Wang X., Hao Y, Du J., Wang Y., Sun Y. Breeding and Characteristics of Maize Male Sterile Line Jinyu 1A // Chinese Journal of Agricultural Sciences. 2020. Vol. 53(21), P. 4322–4332 DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

Поступила: 25.09.24; доработана после рецензирования: 10.10.24; принята к публикации: 28.10.24.

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. Кривошеев Г. Я. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев А. С. – анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко Н. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.174:577.29:631.527.56 DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-28-33

ИЗУЧЕНИЕ АЛЛЕЛЬНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЕНА RF1 У ОБРАЗЦОВ СОРГО ЗЕРНОВОГО

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

Сорго зерновое (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) является одной из важных зерновых культур в мировом производстве. Для создания ценных гетерозисных гибридных линий селекционеры используют цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС), которая в основном в России основана на цитоплазме типа А1 (milo). Этот тип ЦМС контролируется несколькими генами, одним из которых является ген Rf1. Целью настоящей работы являлось изучение аллельного разнообразия гена Rf1 у селекционных и коллекционных образцов сорго зернового. Геномную ДНК сорго зернового выделяли СТАВ-методом из молодых проростков. Оценку количества и качества ДНК проводили на спектрофотометре. Для ПЦР анализа использовали специфический молекулярный маркер Xtxp18, с помощью которого в результате проведенного исследования было выявлено широкое аллельное разнообразие исследованных 30 образцов сорго зернового. После сопоставления результатов молекулярного анализа и уровня фертильности образцов в полевых условиях было установлено, что наибольшую долю в формировании признака фертильность имеют аллели Rf1j (30 %) и Rf1d (32 %) в группе образцов-восстановителей фертильности (В) и аллели Rf1a (23,33 %), Rf1d (23,33 %) и Rf1c (15 %) – в группе с фертильными растениями, не вовлеченными в скрещивания. Аллели Rf1a, Rf1d и Rf1c имели высокий процент ассоциации с полевой фертильностью образцов (сходный с влиянием аллеля Rf1j), и, следовательно, могут быть использованы в селекционном процессе сорго зернового, направленном на создание линий-восстановителей фертильности. Для селекции сорго зернового в направлении создания линий-восстановителей фертильности рекомендуется использование образцов с аллелем Rf1j (ассоциированным с фертильностью), у которых он проявлялся в большей степени, а сами образцы относились к группе восстановителей фертильности – уч. 21/22, уч. 22/22, уч. 23/22, уч. 24/22 и уч. 27/22. Для создания стерильных линий могут быть использованы генотипы сорго зернового с аллелем Rf1e (ассоциированным со стерильностью) – уч. 7/22, уч. 8/22, уч. 9/22 и ЗСК 1497/21 – после подтверждения их закрепительной способности в полевых условиях.

Ключевые слова: *сорго зерновое, Rf1, фертильность, стерильность, аллельное разнообразие.*

Для цитирования: *Вожжова Н. Н., Жогалева О. С., Ковтунов В. В. Изучение аллельного разнообразия гена Rf1 у образцов сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 28–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-28-33.*

(cc) BY

STUDY OF ALLELIC DIVERSITY OF THE RF1 GENE IN GRAIN SORGHUM SAMPLES

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;
V. V. Kovtunov, Doctor 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

Grain sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) is one of the important grain crops in world production. In order to develop valuable heterotic hybrid lines, breeders use cytoplasmic male sterility (CMS), which is mainly based on the A1 (milo) cytoplasm in Russia. This type of CMS is controlled by several genes, one of which is the Rf1 gene. The purpose of the current work was to study the allelic diversity of the Rf1 gene in breeding and collection grain sorghum samples. Genomic DNA of grain sorghum was isolated by the CTAB method from young sprouts. The quantity and quality of DNA were estimated by a spectrophotometer. For PCR analysis, there was used a specific molecular marker Xtxp18, which established a wide allelic diversity of the 30 grain sorghum samples studied. The comparison of the results of molecular analysis and the fertility level of samples in field conditions has shown that the greatest share in the fertility formation belonged to the alleles Rf1j (30 %) and Rf1d (32 %) in the group of fertility restorer samples (B); and the alleles Rf1a (23.33 %), Rf1d (23.33 %) and Rf1c (15 %) in the group of fertile plants not involved in crossing. Alleles Rf1a, Rf1d and Rf1c had a high percentage of association with field fertility of the samples (similar to the effect of the Rf1j allele), and therefore can be used in grain sorghum breeding aimed at developing fertility restorer lines. In order to breed grain sorghum to develop fertility restorer lines, it can be recommended to use samples with the Rf1j allele (associated with fertility), in which it was revealed to a greater extent, and the samples themselves belonged

to the group of fertility restorers 21/22, 22/22, 23/22, 24/22 and 27/22. In order to develop sterile lines, there can be used grain sorghum genotypes with the Rf1e allele (associated with sterility) 7/22, 8/22, 9/22 and ZSK 1497/21 after confirming their fixation ability in field conditions.

Keywords: *grain sorghum, Rf1, fertility, sterility, allelic diversity.*

Введение. Сорго зерновое (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – это пятая по распространенности выращивания в мире зерновая культура (Ordonio et al., 2016). Оно является основным продуктом питания в ряде стран Африки, расположенных южнее пустыни Сахара, и в странах Южной Азии (Khoddami et al, 2021). Сорго – одна из немногих культур, способных адаптироваться к ряду абиотических стрессов, таких как засоленность почвы или засушливые условия (Zheng et al., 2024).

В Российской Федерации сорго используется в основном в качестве корма для сельскохозяйственных животных. Оно может также применяться в пищевой промышленности в качестве сырья для производства крахмала, для производства биотоплива и спирта, а также для производства продуктов диетического питания (Сыркина и Никонорова, 2020). Выращивается преимущественно на почвах, малопригодных для других культур, на территории от Центрально-Черноземного до Западно-Сибирского региона, в том числе и на юге страны (Кибальник и др., 2021).

Поскольку сорго является перекрестноопыляющейся культурой, для создания ценных гетерозисных гибридных линий селекционеры используют цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС) в качестве ведущей стратегии (Радченко и др., 2021).

Цитоплазматическая мужская стерильность контролируется взаимодействием генетических факторов цитоплазмы и генов ядра. Стерильная цитоплазма (ЦИТ^{S}) проявляет свое действие только в случае гомозиготности растения по рецессивному аллелю гена-восстановителя фертильности Rf (генотип ЦИТ^{S}rfrf). У генотипов ЦИТ^{S}RfRf и ЦИТ^{S}Rfrf доминантный ген Rf препятствует проявлению действия стерильной цитоплазмы. Если цитоплазма не является стерильной (ЦИТ^{N}), то при любом аллельном состоянии гена Rf растения нормально фертильны (генотипы ЦИТ^{N}RfRf, ЦИТ^{N}Rfrf, ЦИТ^{N}rfrf) (Косолапов и др., 2013).

У растений с ЦМС имеются недоразвитые пыльники с бесплодной пыльцой, которая лишена запасных питательных веществ, в первую очередь крахмала, отсутствие которого является показателем ее стерильности. ЦМС передается потомству только по материнской линии. При скрещивании стерильных линий (с недоразвитыми слабо окрашенными пыльниками) с различными нормально цветущими сортами и линиями сорго получают гибриды первого поколения, которые могут иметь стерильную, фертильную или полустерильную пыльцу. По реакции на ЦМС исходные сорта и линии-опылители подразделяют на закрепители стерильности, восстановители фертильности и обладающие промежуточной реакцией. К закрепителям стерильности относят те образцы, которые при скрещивании со стерильными линиями дают бесплодное потомство. К восстановителям фертильности относят сорта и образцы, которые при скрещивании со стерильными линиями дают нормальное потомство с жизнеспособной пыльцой. Такие линии и сорта впоследствии используют в качестве отцовских форм при создании гибридов сорго зернового (Алабушев и др., 2003).

Наиболее широко используемой селекционерами формой ЦМС сорго зернового в России является ЦМС A1 (milo). В контроле признака восстановления фертильности пыльцы у форм с такой ЦМС принимают участие не менее двух доминантных комплементарных генов – Rf1 и Rf2, а также ген Rf5. Используя разработанные для этих генов молекулярные маркеры для оценки селекционного материала, можно ускорить процесс отбора и создания материнских стерильных линий (A), линий-закрепителей стерильности (B) и восстановителей фертильности пыльцы (R), необходимых для получения гетерозисных гибридов сорго зернового (Радченко и др., 2021).

Локус восстановления фертильности сорго Rf1 расположен на длинном плече хромосомы 8. Для его определения было разработано несколько диагностических маркеров, один из которых, Xtxp18, фланкирует Rf1 на расстоянии 1,18 сМ.

В исследованиях Gao J. (Gao et al., 2013) с использованием четырех тестирующих популяций с известным генотипом родителей (стерильная линия ATx-622, материнская форма BTx-622 и линии-восстановители фертильности сорго сахарного BJ-299 и Lunen-2) был получен широкий полиморфизм аллелей гена Rf1 (a = 266 пар нуклеотидов (п. н.), b = 262 п. н., c = 258 п. н., d = 248 п. н., e = 238 п. н., f = 236 п. н., g = 232 п. н., h = 230 п. н., i = 228 п. н., j = 220 п. н.) и выявлены аллели, ассоциированные с проявлением стерильности rf1 (аллель e = 238 п. н.) и восстановления фертильности Rf1 (аллель j = 220 п.н.).

На основании этой информации нами в 2019–2020 гг. был проведен скрининг коллекционного материала сорго зернового и выявлено большое разнообразие аллелей по гену Rf1, однако детального аллельного анализа не проводилось (Vozhzhova et al., 2021). Ген Rf1 является доминантным и оказывает большее воздействие на проявление признака фертильности растений сорго зернового по сравнению с генами Rf2 и Rf5, а также показывает широкое аллельное разнообразие, что представляет интерес для селекционной практики.

Таким образом, целью данной работы была оценка разнообразия по аллелям гена контро-

ля фертильности Rf1 у селекционных и коллекционных образцов сорго зернового.

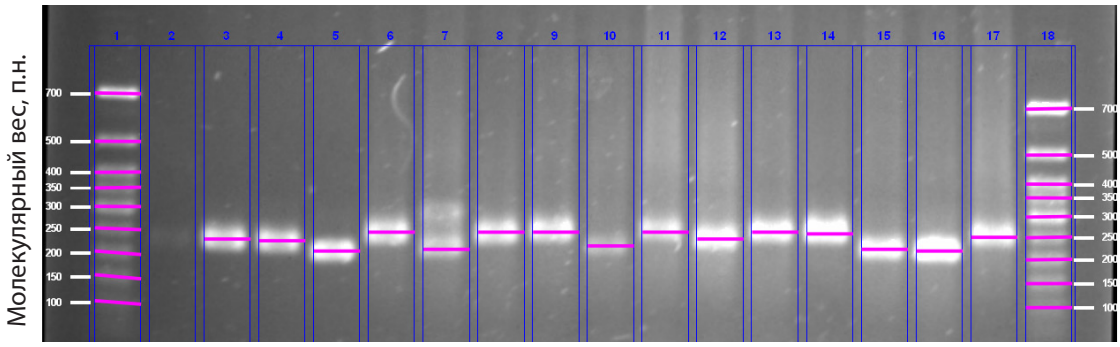
Материалы и методы исследований. В 2023 г. авторы изучили 30 образцов сорго зернового. Селекционные линии для исследования были предоставлены лабораторией селекции и семеноводства сорго зернового ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Геномную ДНК экстрагировали из средней пробы молодых проростков CTAB-методом с модификациями в двукратной повторности (Yadav et al., 2021). Оценку количества и качества ДНК выполняли на спектрофотометре Allsheng Nano-500 (Китай). Для идентификации аллелей гена контроля фертильности Rf1 использовали молекулярный маркер Xtxp18 (Klein et al., 2005). При постановке ПЦР-реакции использовали две технические повторности для каждой из двух биологических, тем самым получив 4 повторности для каждого исследуемого генотипа. Электрофорез ампликонов проводили в 2 %-м агарозном геле. Окрашивание геля выполняли 0,1 %-м бромидом этидия. Детекцию ампликонов производили в приборе Bio-Rad GelDoc XR+ и оценивали их размер с помощью программного обеспечения Bio-Rad ImageLab 5.1.

При проведении полевой оценки фертильности растений сорго зернового образцы разделили на две группы – B и N. Образцы из группы B использовали в скрещиваниях, выполняли оценку фертильности как самих образцов, так и гибридов, полученных с их участием. Образцы из группы N в скрещиваниях не использовали из-за высокой трудоемкости процесса, оценивали только их собственную фертильность.

Результаты и их обсуждение. Так как сорго зерновое является перекрестноопыляющейся культурой, а для выделения ДНК была использована средняя проба из проростков нескольких семян, нами было получено 4 повторности (пробирки) для каждого из исследуемых генотипов.

На рисунке размер выявленных ампликонов контрольных образцов составляет 220 п. н. для сортов Деметра Ф и Волжское 44, около 210 п. н. – для сорта Камышинское 64 (аллель k).



Скрининг образцов сорго зернового на наличие гена контроля фертильности Rf1
на примере одной из повторностей: 1, 18 – маркер молекулярного веса Евроген 50+ bp;
2 – H_2O деионизированная (отрицательный контроль опыта); 3 – Деметра Ф (контроль фертильности);
4 – Волжское 44; 5 – Камышинское 64; 6 – Зерноградское 88 (№ 4); 7 – ЗСК 523/21; 8 – ЗСК 543/21;
9 – ЗСК 496/22; 10 – ЗСК 34 УЧ. 6/15; 11 – ЗСК 1483/21; 12 – ЗСК 1497/21; 13 – ЗСК 465/21;
14 – ЗСК 1546/21; 15 – ЗСК 1548/21; 16 – УЧ. 6/14; 17 – ЗСК 265/18
Screening of grain sorghum samples for the presence of the fertility control gene Rf1
using one of the replicates: 1, 18 – molecular weight marker 'Eurogen 50+ bp';
2 – deionized H_2O (negative control of the trial); 3 – 'Demetra F' (fertility control); 4 – 'Volzhskoe 44';
5 – 'Kamyshinskoe 64'; 6 – 'Zernogradskoe 88' (No. 4); 7 – ZSK 523/21; 8 – ZSK 543/21; 9 – ZSK 496/22;
10 – ZSK 34 of 6/15; 11 – ZSK 1483/21; 12 – ZSK 1497/21; 13 – ZSK 465/21; 14 – ZSK 1546/21;
15 – ZSK 1548/21; 16 – 6/14; 17 – ZSK 265/18

Аллель d размером 248 п. н. идентифицирован у сорта Зерноградское 88 (№ 4) и образцов ЗСК 543/21, ЗСК 496/22, ЗСК 1483/21, ЗСК 465/21, ЗСК 1546/21, ЗСК 265/18.

Аллель j размером 220 пар нуклеотидов, ассоциированный с фертильностью, выявлен у образцов ЗСК 34 УЧ. 6/15, ЗСК 1548/21, УЧ. 6/14

Аллель e размером 238 п. н., ассоциированный со стерильностью, идентифицирован у образца ЗСК 1497/21.

У образца ЗСК 523/21 выявлен аллель размером 210 п. н., аналогичный таковому у сорта Камышинское 64.

В результате проведенного скрининга всех четырех повторностей у изучаемых образцов было выявлено широкое разнообразие аллелей гена контроля фертильности Rf1, что свидетельствует о гетерогенности исходного материала. Это согласуется с ранее выполненным нами скринингом исходного материала сорго зернового (Vozhzhova et al., 2021). Ряд идентифицированных нами аллелей мог быть связан с проявлением фертильности образцов аналогично ранее ассоциированному с фертильностью аллелю Rf1j.

После проведения полевой оценки фертильности образцов сорго зернового было выполнено сопоставление наблюдаемых аллелей и фенотипа (табл. 1).

Таблица 1. Сопоставление фенотипических данных и аллельного разнообразия гена Rf1 у образцов сорго зернового*
Table 1. Comparison of phenotypic data and allelic diversity of the Rf1 gene in grain sorghum samples*

№ п/п	Наименование образца	Фенотип	Аллели гена Rf1			
			I	II	III	IV
1	уч. 7/22	N	c+j	e+j	null	null
2	уч. 8/22	N	i	e	null	null
3	уч. 9/22	N	e	null	null	i
4	уч. 15/22	N	b	b	d	d
5	уч. 16/22	B	c	c	g	g
6	уч. 17/22	B	a	a	d	d
7	уч. 18/22	B	a	c	null	null
8	уч. 19/22	B	null	null	d	d
9	уч. 20/22	B	k	j	k	k
10	уч. 21/22	B	null	j	j	j
11	уч. 22/22	B	j	j	j	k
12	уч. 23/22	B	null	null	j	j
13	уч. 24/22	B	j	g	null	j
14	уч. 25/22	B	d	d	d	d
15	уч. 26/22	B	d	d	d	d
16	уч. 27/22	B	j	j	k	j
17	уч. 28/22	B	b	a	d	d
18	уч. 29/22	B	a	a	d	d
19	ЗСК 265/18	N	d	d	null	null
20	Зерноградское 88 (№ 4)	N	a	d	null	null
21	ЗСК 523/21	N	c	k	null	null
22	ЗСК 543/21	N	a	d	null	null
23	ЗСК 496/22	N	a	d	null	null
24	ЗСК 34 УЧ. 6/15	B	a	j	null	null
25	ЗСК 1483/21	N	a	c	null	null
26	ЗСК 1497/21	N	a	e	null	null
27	ЗСК 465/21	N	a	c	null	null
28	ЗСК 1546/21	N	a	c	null	null
29	ЗСК 1548/21	N	d	j	null	null
30	УЧ. 6/14	N	j	j	null	null

*Примечание. * N – фертильный образец; B – восстановитель фертильности; null – амплификация не происходила.*

Для обеих групп образцов был выполнен расчет частоты встречаемости аллелей гена Rf1 по всем четырем повторностям (табл. 2 и 3).

Наибольшими долями в образцах сорго зернового, являющихся восстановителями фертильности, обладали аллели Rf1j (ассоциированный с фертильностью) и Rf1d – 30 и 32 % соответственно. Наименьшее фенотипическое влияние оказывал аллель Rf1b – 2 %.

Таблица 2. Частота встречаемости аллелей гена Rf1 у образцов сорго зернового группы B
Table 2. Occurrence frequency of the Rf1 gene alleles in grain sorghum samples of group B

№ п/п	Аллель Rf1	Частота встречаемости, ед.	Доля в фенотипе, %
1	a	0,14	14,00
2	b	0,02	2,00
3	c	0,06	6,00
4	d	0,32	32,00
5	g	0,06	6,00
6	j	0,30	30,00
7	k	0,10	10,00

Таблица 3. Частота встречаемости аллелей гена Rf1 у образцов сорго зернового группы N
Table 3. Occurrence frequency of the Rf1 gene alleles in grain sorghum samples of group N

№ п/п	Аллель Rf1	Частота встречаемости, ед.	Доля в фенотипе, %
1	a	0,2333	23,33
2	b	0,0333	3,33
3	c	0,1500	15,00
4	d	0,2333	23,33
5	e	0,1167	11,67
6	i	0,0667	6,67
7	j	0,1333	13,33
8	k	0,0333	3,33

Наибольшим влиянием на фенотипическое проявление фертильности обладали аллели Rf1a и Rf1d – по 23,33 %. Вторым по значимости являлся аллель Rf1c – 15 % доли в фенотипе. Наименьшее влияние оказывали аллели Rf1b и Rf1k – по 3,33 %.

Аллель Rf1e (ассоциированный со стерильностью) выявлялся в 11,67 % случаев, но его воздействие в полевых условиях подавлялось аллелями Rf1a, Rf1i и Rf1j.

Таким образом, в нашем исследовании аллели Rf1a, Rf1d и Rf1c имели высокий процент ассоциации с полевой фертильностью образцов (сходный с влиянием аллеля Rf1j) и поэтому они могут быть использованы в селекционном процессе сорго зернового, направленном на создание линий-восстановителей фертильности.

Аллель Rf1i, способный в полевых условиях подавлять влияние аллеля Rf1e (ассоциированного со стерильностью), может быть также использован в селекции линий-восстановителей фертильности сорго зернового.

В результате проведенного анализа образцов сорго зернового по фенотипу и аллельному разнообразию гена контроля фертильности Rf1 было идентифицировано 5 образцов с аллелем Rf1j (ассоциированным с фертильностью), у которых он проявлялся в большей степени, а сами образцы относились к группе восстановителей фертильности – уч. 21/22, уч. 22/22, уч. 23/22, уч. 24/22 и уч. 27/22.

В качестве дополнительных источников для селекционного процесса рекомендуется использование образцов сорго зернового из группы восстановителей фертильности и имеющих аллели Rf1a (уч. 17/22, уч. 18/22, уч. 29/22), Rf1d (уч. 17/22, уч. 19/22, уч. 25/22, уч. 26/22, уч. 28/22, уч. 29/22) и Rf1c (уч. 16/22, уч. 18/22).

Для создания стерильных линий необходимы генотипы, имеющие аллель Rf1e (ассоциированный со стерильностью), который выявлялся у образцов уч. 7/22, уч. 8/22, уч. 9/22 и ЗСК 1497/21. Эти образцы могут быть в дальнейшем использованы для оценки закрепительной способности, а при ее подтверждении – для селекции стерильных линий сорго зернового.

Выводы.

1. В результате проведения полевой оценки фертильности образцов сорго зернового было выполнено сопоставление наблюдаемых аллелей и фенотипа, что позволило дифференцировать наиболее часто встречающиеся аллели Rf1j (30 %) и Rf1d (32 %) в группе образцов B; и аллели Rf1a (23,33 %), Rf1d (23,33 %) и Rf1c (15 %) – в группе образцов N.

2. Установлено, что аллель Rf1e (ассоциированный со стерильностью) выявлялся в 11,67 % случаев, но его воздействие в полевых условиях подавлялось аллелями Rf1a, Rf1i и Rf1j.

3. Выявлено, что аллели Rf1a, Rf1d и Rf1c имели высокий процент ассоциации с полевой фертильностью образцов (сходный с влиянием аллеля Rf1j), и, следовательно, могут быть использованы в селекционном процессе сорго зернового, направленном на создание линий-восстановителей фертильности.

4. Для селекции сорго зернового в направлении создания линий-восстановителей фертильности рекомендуется использование образцов с аллелем Rf1j (ассоциированным с фертильностью), у которых он проявлялся в большей степени, а сами образцы относились к группе восстановителей фертильности – уч. 21/22, уч. 22/22, уч. 23/22, уч. 24/22 и уч. 27/22.

5. Для создания стерильных линий могут быть использованы генотипы сорго зернового с аллелем Rf1e (ассоциированным со стерильностью) – уч. 7/22, уч. 8/22, уч. 9/22 и ЗСК 1497/21 – после подтверждения их закрепительной способности в полевых условиях.

Библиографический список

1. Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Бочкарева Ю. В., Прахов А. В., Семин Д. С. Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах российской федерации (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 2. С. 155–166. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166

2. Радченко Е. Е., Алпатьева Н. В., Карабицина Ю. И., Рязанова М. К., Кузнецова Е. Б., Романова О. И., Анисимова И. Н. Разработка и валидация CAPS-маркера, ассоциированного с геном Rf2 у сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) // Биотехнология и селекция растений. 2021. № 4(2). С. 38–47. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-O4

3. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика) // Всероссийский НИИ сорго и других зерновых культур. Ростов-н/Д.: ЗАО «Книга», 2003. 368 с.

4. Сыркина Л. Ф., Никонорова Ю. Ю. Сорго зерновое как возможный источник сырья для переработки на крахмал и спирт // Вестник КрасГАУ. 2020. № 10(163). С. 95–100. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-95-100

5. Косолапов В. М., Трофимов И. А., Трофимова Л. С. Энциклопедический словарь терминов по кормопроизводству // Рос. акад. с.-х. наук, Гос. науч. учреждение Всерос. науч.-исслед. ин-т кормов им. В. Р. Вильямса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Тип. Россельхозакадемии, 2013. 589 с.

6. Gao J., Xia B., Luo F., Sun S., Pei Z., Gui Z., Yuan Q., Li X. Marker-assisted breeding for Rf1, a nuclear gene controlling A1 CMS in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Euphytica. 2013. Vol. 193, Iss. 3. P. 383–390. DOI: 10.1007/s10681-013-0939-6

7. Khoddami A., Messina V., Vadabalija Venkata K., Farahnaky A., Blanchard C. L., Roberts T. H. Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 63(9). P. 1170–1186. DOI: 10.1080/10408398.2021.1960793

8. Klein R. R., Klein P. E., Mullet J. E., Minx P., Rooney W. L., Schertz K. F. Fertility restorer locus Rf1 of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) encodes a pentatricopeptide repeat protein not present in the collinear region of rice chromosome 12 // Theoretical and Applied Genetics. Springer Verlag. 2005. Vol. 111, Iss. 6. P. 994–1012. DOI: 10.1007/s00122-005-2011-y

9. Ordonio R., Ito Y., Morinaka Y., Sazuka T., Matsuoka M. Chapter Five – Molecular Breeding of Sorghum bicolor, A Novel Energy Crop // Editor(s): Kwang W. Jeon, International Review of Cell and Molecular Biology, Academic Press. 2016. Vol. 321. P. 221–257. DOI: 10.1016/bs.ircmb.2015.09.001

10. Vozhzhova N. N., Ionova E. V., Popov A. S., Kovtunov V. V. Identification of fertility gene Rf1 in collection samples of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in southern Russia // Biology and Life Sciences Forum. 2021. Vol. 4, Iss. 1. Article number: 81. DOI: 10.3390/IECPS2020-08710

11. Yadav A., Sharma A., Kumar A., Yadav R., Kumar R. SSR based molecular profiling of elite cultivars of basmati rice (*Oryza sativa* L.) // Research Journal of Biotechnology. 2021. Vol. 16(12). P. 55–63. DOI: 10.25303/1612rjbt5563

12. Zheng H., Dang Y., Diao X., Sui N. Molecular mechanisms of stress resistance in sorghum: Implications for crop improvement strategies // Journal of Integrative Agriculture. 2024. Vol. 23, Iss. 3. P. 741–768. DOI: 10.1016/j.jia.2023.12.023

References

1. Kibal'nik O. P., Efremova I. G., Bochkareva Yu. V., Prakhov A. V., Semin D. S. Produktivnost' sorgovykh kul'tur v zavisimosti ot agrotekhnicheskikh priemov vozdelyvaniya v regionakh rossiiskoi federatsii (obzor) [Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical cultivation methods in the regions of the Russian Federation (review)] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021. № 2. S. 155–166. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166

2. Radchenko E. E., Alpat'eva N. V., Karabitsina Yu. I., Ryazanova M. K., Kuznetsova E. B., Romanova O. I., Anisimova I. N. Razrabotka i validatsiya CAPS-markera, assotsiirovannogo s genom Rf2 u sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) [Development and validation of a CAPS marker associated with the Rf2 gene in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)] // Biotekhnologiya i selektsiya rastenii. 2021. № 4(2). S. 38–47. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-O4

3. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gurskii N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. Sorgo (selektsiya, semenovodstvo, tekhnologiya, ekonomika) [Sorghum (breeding, seed production, technology, economy)] // Vserossiiskii NII sorgo i drugikh zernovykh kul'tur. Rostov-n/D.: ZAO «Kniga», 2003. 368 s.

4. Syrkina L. F., Nikonorova Yu. Yu. Sorgo zernovoe kak vozmozhnyi istochnik syr'ya dlya pererabotki na krakhmal i spirt [Grain sorghum as a possible source of raw material for processing into starch and spirits] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 10(163). S. 95–100. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-95-100

5. Kosolapov V. M., Trofimov I. A., Trofimova L. S. Entsiklopedicheskii slovar' terminov po kormoproizvodstvu [Encyclopedic dictionary of forage production terms] // Ros. akad. s.-kh. nauk, Gos. nauch. uchrezhdenie Vseros. nauch.-issled. in-t kormov im. V. R. Vil'yamsa. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Tip. Rossel'khozakademii, 2013. 589 s.

6. Gao J., Xia B., Luo F., Sun S., Pei Z., Gui Z., Yuan Q., Li X. Marker-assisted breeding for Rf1, a nuclear gene controlling A1 CMS in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Euphytica. 2013. Vol. 193, Iss. 3. P. 383–390. DOI: 10.1007/s10681-013-0939-6

7. Khoddami A., Messina V., Vadabalija Venkata K., Farahnaky A., Blanchard C. L., Roberts T. H. Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 63(9). P. 1170–1186. DOI: 10.1080/10408398.2021.1960793

8. Klein R. R., Klein P. E., Mullet J. E., Minx P., Rooney W. L., Schertz K. F. Fertility restorer locus Rf1 of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) encodes a pentatricopeptide repeat protein not present in the collinear region of rice chromosome 12 // Theoretical and Applied Genetics. Springer Verlag. 2005. Vol. 111, Iss. 6. P. 994–1012. DOI: 10.1007/s00122-005-2011-y

9. Ordonio R., Ito Y., Morinaka Y., Sazuka T., Matsuoka M. Chapter Five – Molecular Breeding of Sorghum bicolor, A Novel Energy Crop // Editor(s): Kwang W. Jeon, International Review of Cell and Molecular Biology, Academic Press. 2016. Vol. 321, P. 221–257. DOI: 10.1016/bs.ircmb.2015.09.001

10. Vozhzhova N. N., Ionova E. V., Popov A. S., Kovtunov V. V. Identification of fertility gene Rf1 in collection samples of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in southern Russia // Biology and Life Sciences Forum. 2021. Vol. 4, Iss. 1. Article number: 81. DOI: 10.3390/IECPS2020-08710

11. Yadav A., Sharma A., Kumar A., Yadav R., Kumar R. SSR based molecular profiling of elite cultivars of basmati rice (*Oryza sativa* L.) // Research Journal of Biotechnology. 2021. Vol. 16(12), P. 55–63. DOI: 10.25303/1612rjbt5563

12. Zheng H., Dang Y., Diao X., Sui N. Molecular mechanisms of stress resistance in sorghum: Implications for crop improvement strategies // Journal of Integrative Agriculture. 2024. Vol. 23, Iss. 3. P. 741–768. DOI: 10.1016/j.jia.2023.12.023

Поступила: 29.10.24; доработана после рецензирования: 21.11.24; принята к публикации: 21.11.24.

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. Вожжова Н. Н. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, сбор литературных данных и подготовка рукописи; Жогалева О. С. – проведение лабораторных исследований и их анализ, Ковтунов В. В. – сбор и предоставление образцов для анализа, оценка полевой фертильности образцов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.111:631.524.84:631.582(470.31) DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-34-41

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕКСАПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ CIMMYT В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Б. Б. Наджодов[1,2], лаборант-исследователь лаборатории прикладной геномики и частной селекции сельскохозяйственных растений; аспирант кафедры генетики, селекции и семеноводства, boburnajodov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1932-9522;
В. С. Рубец[1,3], доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории спидбридинга в селекции сельскохозяйственных культур; ведущий научный сотрудник Отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН, Valentina.rubets50@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1870-7242;
С. С. Баженова[2], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства, bazhenovass@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3123-1154;
В. В. Пыльнев[4], доктор биологических наук, профессор, независимый исследователь, PYL8@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0400-0609
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), 127550, г. Москва ул. Тимирязевская, д. 42;
[2]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49;
[3]ФГБУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина, 127276, г. Москва, Ботаническая ул., д. 4
[4]Независимый исследователь, 125239, г. Москва, ул. Новопетровская, д. 3

В статье представлены результаты изучения 14 синтетических линий яровой пшеницы, созданных в Международном центре улучшения пшеницы и кукурузы (CIMMYT). Исследования проводили в РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. Полевые опыты были выполнены на полевой опытной станции в 2022–2023 годах. Агротехника – общепринятая для зоны. Площадь делянки 1 м^2, повторность трехкратная. Метеорологические данные получены от Метеорологической обсерватории имени В. А. Михельсона. Выявлено, что линии яровой пшеницы № 70, 220 и 221 являются раннеспелыми в условиях ЦРНЗ, остальные среднеспелыми, созревающими позднее стандарта на 7–10 дней. Линии № 70, 178, 215, и 220 являются устойчивыми к мучнистой росе и бурой ржавчине, линии № 147, 217 и 223 – наиболее стабильными по урожайности. Установлено, что существует положительная корреляционная связь между урожайностью с одной стороны, и числом зерен с колоса (r = 0,56*) и массой зерна с колоса (r = 0,83**) – с другой. Также обнаружена положительная корреляционная связь между продолжительностью вегетационного периода и массой 1000 зерен (r = 0,57*).

Ключевые слова: *синтетические гексаплоидные линии, яровая пшеница, масса 1000 зерен, стекловидность, урожайность.*

Для цитирования: *Наджодов Б. Б., Рубец В. С., Баженова С. С., Пыльнев В. В. Характеристика хозяйственно ценных признаков синтетических гексаплоидных линий яровой мягкой пшеницы CIMMYT в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 34–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-34-41.*

(cc) BY

CHARACTERISTICS OF ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF SYNTHETIC HEXAPLOID OF SPRING COMMON WHEAT LINES CIMMYT IN THE CENTRAL REGION OF THE NON-BLACKEARTH PART OF RUSSIA

B. B. Nadzhodov[1,2], laboratory researcher of the laboratory for genomics and private breeding of agricultural plants; post-graduate of the department of genetics, breeding and seed production, boburnajodov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1932-9522;
V. S. Rubets[1,3], Doctor of Biological Sciences, professor, leading researcher of the laboratory for speed breeding in the agricultural crops' breeding; leading researcher of the Remote Hybridization Department of RAS, Valentina.rubets50@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1870-7242;
S. S. Bazhenova[2], Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of genetics, breeding and seed production, bazhenovass@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3123-1154;
V. V. Pylnev[4], Doctor of Biological Sciences, professor, Independent Researcher, PYL8@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0400-0609
[1]FSBSI "All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology" (FSBSI ARRIAB), 127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 42;
[2]FSBEI HE "Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy" 127434, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49;

[3]FSBIS the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of RAS (MGB RAS), 127276, Moscow, Botanicheskaya Str., 4
[4]Independent Researcher, 125239, Moscow, Novopetrovskaya Str., 3

The current paper has presented the study results of 14 synthetic spring wheat lines developed at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). The study was conducted at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Field trials were carried out at the field experimental station in 2022–2023. Agricultural technology was typical for the zone. The plot area was 1 m2 with a threefold sequence. Weather data were obtained from the V. A. Mikhelson Meteorological Observatory. There has been found that the spring wheat lines 70, 220 and 221 are early maturing under the conditions of the Central Region of Non-Black Earth Area. The rest lines are middle maturing, with 7–10 days later with the standard variety. The lines 70, 178, 215 and 220 are resistant to powdery mildew and brown rust. The lines 147, 217 and 223 are the most stable in productivity. A positive correlation was identified between yield and the number of grains per ear (r = 0.56), as well as between yield and grain weight per ear (r = 0.83*). Additionally, a moderate positive correlation was observed between the length of the growing season and the weight of 1000 grains (r = 0.57*).

Keywords: *synthetic hexaploid lines, spring wheat, 1000-grain weight, hardness, productivity.*

Введение. В настоящее время в нашей стране и в мире отмечается сужение генетического разнообразия пшеницы. В связи с этим дикие сородичи культурных растений приобретают все большее значение для селекции как доноры хозяйственно ценных признаков (Потоцкая и др., 2019). При этом потенциальная урожайность мягкой пшеницы во многом зависит от устойчивости возделываемых сортов к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам внешней среды. Генетического материала самой мягкой пшеницы не всегда достаточно для решения этой проблемы. В особенности это касается генов устойчивости к болезням, ограниченное разнообразие которых является одним из основных лимитирующих факторов селекции (Давоян и др., 2012). Введение генов устойчивости от других видов злаков в генотип пшеницы возможно при использовании синтетических пшениц. Синтетическая гексаплоидная (SHW) пшеница (AABBD'D') была получена путем искусственной гибридизации между тетраплоидной твердой пшеницей (Triticum turgidum, AABB) и диплоидным диким видом (Aegilops tauschii, D'D') (Rosyara et al., 2019).

Целью нашего исследования является характеристика синтетических гексаплоидных линий яровой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследования послужили 14 синтетических линий яровой мягкой пшеницы. В качестве стандарта использовали раннеспелый сорт Злата селекции ФИЦ «Немчиновка» (табл. 1).

Таблица 1. Происхождение линий синтетической яровой пшеницы
Table 1. Origin of synthetic spring wheat lines

№ линии по каталогу CIMMYT	Гибридная комбинация
Злата, st	F4 (Иволга × Прохоровка)
Линия №70	Sonata/Vorb
Линия №79	Udacha/3/Pastor//Hxl 7573/2*Bau
Линия №147	Stepnaya 15/3/Qing Haibei/Wbll 1//Brbt 2
Линия №150	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия №151	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия №152	Stepnaya 16/5/Tui//2*Sunco/SA 1166/3/Tui/4/Finsi
Линия №153	Lutescens 1085/7/Tob/Era//Tob/Cno 67/3/Plo/4/Vee#5/5/Kauz/6/Fret
Линия №178	Omskaya 37/5/Seri*3//Rl 6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav 92
Линия №187	Lutescens 210.99.10/4/Milan/Sha 7/3/Croc 1/Ae. squarrosa (224) // Opata
Линия №215	53.94.98.2/3/T. dicoccum PI 94625/ Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/ SVK 13.
Линия №217	Fiton 42/3/ T. dicoccum PI 94625 / Ae. squarrosa (372)//3*Pastor/4/Gvk 1857.
Линия №220	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия №221	Lutescens 196.94.6*2/Vorb
Линия №223	Lutescens 196.94.6*2/Vorb

Полевые исследования проводили на полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева в 2022–2023 годах. Площадь делянки 1 м^2, повторность трехкратная. Размещение вариантов – систематическое, агротехника – общепринятая для данной зоны. Посев осуществляли кассетной селекционной сеялкой СКС-6-10, уборку – вручную, обмолот – на пучково-сноповой молотилке МПСУ-500. В ходе вегетации отмечали наступление фенологических фаз и оценивали устойчивость к полеганию по 5-балльной шкале, где 1 балл – полное полегание, а 5 – полное отсутствие полегания (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1988). Устойчивость к заболеваниям оценивали по универсальной 9-балльной шкале ВИР, где 1 балл – сильное поражение (высокая восприимчивость), а 9 – полное отсутствие поражения (иммунитет). Массу 1000 зерен

определяли согласно ГОСТ 12042-80, натуру зерна – микрометодом (Беркутова, 1992), стекловидность – на электронном диафаноскопе «Янтарь» (ГОСТ 10987-76). Метеорологические данные периода выращивания предоставлены Метеорологической обсерваторией имени В. А. Михельсона. Гидротермические коэффициенты (ГТК) рассчитывали по методу Г. Т. Селянинова (Чирков, 1986).

В 2022 г. посев был проведен в оптимальные сроки – 5 мая. Метеорологические условия в целом соответствовали среднемноголетним значениям. Период от посева до всходов характеризовался избытком влаги и недостатком тепла, при этом ГТК за данный период составил 1,3 (табл. 2).

Таблица 2. Условия увлажнения и теплообеспеченности выращивания яровой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 2. Moisture and heat supply conditions for growing spring wheat (2022–2023)

Показатели увлажнения и теплообеспеченности	2022 г.	2023 г.
Сумма осадков, мм		
Межфазный период от посева до всходов	14,9	35,5
Межфазный период от всходов до колошения	109,1	41,7
Межфазный период от колошения до полной спелости	90,7	215,7
В целом за вегетацию	214,7	292,9
Сумма активных температур, °С		
Межфазный период от посева до всходов	113,5	92,4
Межфазный период от всходов до колошения	643,6	587,3
Межфазный период от колошения до полной спелости	719,5	810,3
В целом за вегетацию	1476,6	1490
ГТК		
Межфазный период от посева до всходов	1,3	3,8
Межфазный период от всходов до колошения	1,7	0,7
Межфазный период от колошения до полной спелости	1,3	2,7
В целом за вегетацию	1,6	1,9

В 2023 г. посев был проведен 22 апреля, а всходы появились уже 2 мая. Период от посева до всходов характеризовался сильным избытком влаги – ГТК составил 3,8. Однако в период от всходов до колошения количество осадков оказалось более чем в два раза меньше, чем в 2022 г. (ГТК – 0,7). Это негативно сказалось на развитии вегетативных частей растений и урожайности. В период от колошения до полной спелости наблюдалось увеличение осадков и снижение среднесуточной температуры по сравнению с 2022 г. (ГТК – 2,7). Сумма активных температур за оба года оказалась практически одинаковой. В целом в 2023 г. за вегетационный период выпало больше осадков, чем в 2022 г., однако осадки в 2022 г. распределялись более равномерно, что оказало значительное влияние на рост и развитие растений яровой пшеницы.

Статистическую обработку данных проводили с использованием двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA), где фактором А выступали сортообразцы, а фактором В – годы. Расчеты выполняли по методике полевого опыта (Доспехов, 2014). Для оценки корреляционной зависимости между показателями был использован коэффициент корреляции Пирсона. Все расчеты и построение графиков матрицы корреляций выполняли в программной среде Python 3.12.4 с использованием библиотеки Matplotlib.

Результаты и их обсуждение. Продолжительность вегетационного периода. Метеорологические условия лет выращивания оказали значительное влияние на длительность межфазных периодов и общую продолжительность вегетации яровой пшеницы (табл. 3). В оба года исследований продолжительность периода от всходов до колошения была приблизительно одинаковой у всех образцов (табл. 3). Однако продолжительный дождливый период после цветения в 2023 г. при относительно низкой среднесуточной температуре привел к удлинению вегетационного периода. Межфазный период от колошения до полной спелости увеличился на 10–15 дней по сравнению с 2022 г., что привело к удлинению вегетационного периода изученных линий на 10–15 дней. Осадки после цветения вызвали активное образование побегов (подгонов), которые, несмотря на потребление значительного количества питательных веществ, не способствовали повышению урожайности, так как к моменту уборки эти побеги находились на стадии цветения и не успели сформировать полноценный урожай. В 2022 г. линии № 220 и 223 можно классифицировать как среднеранние аналогично стандарту Злата. Большинство мексиканских линий – № 70, 79, 147, 150, 152, 187, 215 – отставали от стандарта на 1–4 дней и входили в группу среднеспелых. Линии № 151, 153 и 178 были самыми позднеспелыми в 2022 г., отставая от сорта Злата на 10 дней. В 2023 г. ли-

нии № 220 и 221 созрели раньше сорта Злата на 2 дня (табл. 3). Только линия № 70 созрела одновременно со стандартом. Остальные линии в 2023 г. задержались в среднем на неделю. Запаздывание с созреванием часто совпадает с дождливым периодом, который является обычным для Центрального региона Нечерноземной зоны. Таким образом, позднеспелость мексиканских линий можно считать отрицательным признаком, особенно для условий этого региона.

В среднем за два года линии № 220 и 221 можно отнести к раннеспелым по сравнению со стандартным сортом Злата. Линия № 70 в среднем за два года созрела одновременно с сортом Злата. Сортообразцы № 79, 147, 150, 151, 153, 187, 215 и 223 имели вегетационный период продолжительностью 91–95 дней, отставая от Златы (90 дней) на 3–4 дня. Остальные линии отставали примерно на 7–9 дней (табл. 3).

Таблица 3. Продолжительность межфазных периодов и вегетации образцов яровой пшеницы, дней (2022–2023 гг.)
Table 3. Length of interphase and vegetation periods of spring wheat samples, days (2022–2023)

Образцы	Всходы–колошение			Колошение–спелость			Вегетационный период		
	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	42	44	43	31	41	36	83	96	90
Линия №70	44	46	45	30	39	35	84	96	90
Линия №79	45	48	47	31	43	37	86	101	94
Линия №147	42	45	44	32	42	37	84	98	91
Линия №150	42	45	44	34	43	39	86	99	93
Линия №151	42	46	44	41	40	41	93	97	95
Линия №152	44	45	45	32	46	39	86	103	95
Линия №153	50	51	51	33	42	38	93	105	99
Линия №178	46	48	47	37	43	40	93	103	98
Линия №187	46	48	47	30	42	36	86	100	93
Линия №215	45	46	46	32	45	39	87	101	94
Линия №217	47	49	48	33	44	39	90	103	97
Линия №220	43	46	45	30	38	34	83	94	89
Линия №221	43	45	44	29	39	34	82	94	88
Линия №223	42	45	44	31	46	39	83	101	92

Устойчивость к полеганию. Полегание является одной из основных проблем снижения урожайности и качества зерна пшеницы. Устойчивость этой культуры к полеганию зависит от факторов внешней среды, биологических и морфологических особенностей стебля и корневой системы (Агеева и др., 2020).

В 2022 г. все изучаемые линии характеризовались высокой устойчивостью к полеганию (табл. 4). Однако в 2023 г. наблюдалось снижение устойчивости у большинства мексиканских линий до 3–4-х баллов. Исключением стала только линия № 178, которая сохранила высокую устойчивость (5 баллов) в оба года исследований. Сорт-стандарт Злата также показал снижение устойчивости с 5-ти баллов в 2022 г. до 4-х баллов в 2023 году. Это свидетельствует о том, что погодные условия в 2023 г. оказали негативное влияние на устойчивость сортообразцов к полеганию. Линии № 147, 215 и 220, помимо Златы, также показали снижение средней устойчивости до 3-х баллов в 2023 году. Одной из причин снижения устойчивости стало значительное количество осадков в 2023 г. в период от колошения до полной спелости – 215,7 мм по сравнению с 90,7 мм в 2022 году. Обильные дожди ослабили стебли растений, что увеличило вероятность полегания (табл. 2).

Устойчивость к болезням. Преобладающими грибными заболеваниями яровой пшеницы в ЦРНЗ являются мучнистая роса и бурая ржавчина, а с 2010 г. на посевы вернулась стеблевая ржавчина, которая отсутствовала в регионе около 30 лет (Лапочкина и др., 2021). При этом погодные условия могут ускорить жизненные циклы патогенов и вызвать изменение вирулентности (Cowger et al., 2022). В 2022–2023 гг. все изученные линии показали высокий уровень устойчивости к бурой ржавчине (9 баллов). Разные сортообразцы обладали различной степенью устойчивости к мучнистой росе. Этот показатель варьировал и по годам исследований. В 2022 г. линии № 79, 147, 151, 152 и 153 проявили слабую устойчивость (3 балла). Линия № 79 сохранила свою устойчивость на уровне 3-х баллов в 2023 г., в то время как линия № 152 показала дальнейшее снижение устойчивости до одного балла. Стандарт Злата также продемонстрировал значительное снижение устойчивости к мучнистой росе – с 7-ми баллов в 2022 г. до 3-х баллов в 2023 году. Линии № 70, 178, 215, и 220 отличались высокой устойчивостью в оба года исследований, являясь весьма перспективными при селекции сортов, устойчивых к бурой ржавчине и мучнистой росе (табл. 4).

Таблица 4. Устойчивость линий яровой пшеницы к полеганию и болезням (2022–2023 гг.)
Table 4. Resistance of spring wheat lines to lodging and diseases (2022–2023)

Образцы	Устойчивость, балл								
	к полеганию			к бурой ржавчине			к мучнистой росе		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №70	5	4	5	9	9	9	9	9	9
Линия №79	5	4	5	9	9	9	3	3	3
Линия №147	5	3	4	9	9	9	5	3	4
Линия №150	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №151	5	4	5	9	9	9	5	4	5
Линия №152	5	4	5	9	9	9	3	1	2
Линия №153	5	4	5	9	9	9	5	2	4
Линия №178	5	5	5	9	9	9	7	5	6
Линия №187	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №215	5	3	4	9	9	9	7	7	7
Линия №217	5	4	5	9	9	9	3	2	3
Линия №220	5	3	4	9	9	9	9	5	7
Линия №221	5	4	5	9	9	9	7	3	5
Линия №223	5	4	5	9	9	9	5	4	5

*Примечание. *В 2022 г. отсутствовал естественный инфекционный фон по бурой ржавчине (в оба годы исследования стеблевая ржавчина обнаружена не была).*

Урожайность сортов и линий яровой пшеницы является ключевым показателем, характеризующим их адаптацию к конкретным природно-климатическим условиям. В благоприятном 2022 г. урожайность всех линий была значительно выше. В 2023 г. условия были менее благоприятными, что привело к существенному снижению урожайности. Сорт-стандарт Злата показал урожайность 473,5 г/м^2 в 2022 г., но в 2023 г. его урожайность снизилась более чем в два раза – до 210,3 г/м^2 (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность и основные элементы структуры линий яровой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 5. Productivity and main structure elements of spring wheat lines (2022–2023)

Образцы	Урожайность, г/м^2			Число зерен с колоса, шт.			Масса зерна с колоса, г		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	473,5	210,3	341,9	32	21	27	1,3	1,0	1,2
Линия №70	387,9	219,6	303,8	33	29	31	1,4	1,4	1,4
Линия №79	426,4	171,8	299,1	35	28	32	1,5	1,3	1,4
Линия №147	438,9	214,3	326,6	33	28	31	1,4	1,3	1,4
Линия №150	357,7	172,3	265,0	32	24	28	1,3	1,1	1,2
Линия №151	389,8	148,3	269,1	27	22	25	1,2	1,1	1,2
Линия №152	400,8	171,5	286,2	37	18	28	1,6	1,2	1,4
Линия №153	370,6	197,2	283,9	29	24	27	1,6	1,2	1,4
Линия №178	442,3	206,0	324,2	38	32	35	1,6	1,3	1,5
Линия №187	402,7	212,4	307,6	34	37	36	1,5	2,0	1,8
Линия №215	409,0	236,2	322,6	30	32	31	1,3	1,7	1,5
Линия №217	430,5	214,0	322,3	31	21	26	1,5	1,1	1,3
Линия №220	352,3	262,8	307,6	31	29	30	1,2	1,3	1,3
Линия №221	361,6	227,8	294,7	29	27	28	1,2	1,2	1,2
Линия №223	445,6	310,7	378,2	39	34	37	1,6	1,6	1,6
$НСР_{05}$	49,3	35,15	75,5	6,5	8,0	12,7	0,2	0,2	0,2

В среднем за два года сорт Злата показал урожайность 341,9 г/м^2. Наиболее стабильными и высокоурожайными оказались линии № 220 и 223. Линия № 223, в частности, продемонстрировала высокие показатели: 445,6 г/м^2 в 2022 г. и 310,7 г/м^2 в 2023 г., что в среднем составило 378,2 г/м^2. Это выше среднего значения сорта Злата, что указывает на высокий потенциал этой линии для селекции. Высокоурожайная линия № 147 в 2022 г. достигла 438,9 г/м^2, а в 2023-м – 214,3 г/м^2, что дало средний результат в 326,6 г/м^2. Линии № 217 и 178 также продемонстрировали высокую урожайность, близкую к сорту Злата. Линия № 217 имела среднюю урожайность 322,3 г/м^2, а линия № 178 – 324,2 г/м^2. Это указывает на их стабильный высокий потенциал в условиях ЦРНЗ (табл. 5). В итоге можно выделить линии № 147, 178, 217

и 223 как наиболее стабильные по урожайности в различающихся по метеорологическим условиям годам. Линия № 220 характеризовалась способностью дать хороший результат при неблагоприятных условиях. Эти линии можно использовать в селекции на урожайность.

Число зерен с колоса и масса зерен являются важными элементами структуры урожая, которые тесно связаны с общей урожайностью растений. В 2022 г. число зерен с колоса у большинства образцов варьировало от 27 до 39, при этом линия № 223 показала максимальное число зерен – 39 штук. В 2023 г. из-за засушливых условий в период вегетации число зерен снизилось у всех образцов, и максимальное было зафиксировано у линии № 187 (37 шт.), тогда как стандарт Злата имел лишь 21 зерно с колоса (табл. 5).

Масса зерен с колоса у большинства образцов варьировала в пределах 1,2–1,8 г в среднем за 2 года (табл. 5). В 2022 г. линия №187 показала максимальный результат – 1,5 г, а больше – 1,6 г – было у линий №152, 153, 178, 223, что свидетельствует о высокой продуктивности колоса (табл. 6) В 2023 г. масса зерен снизилась у большинства линий – № 187, 215 и 220, что можно связать с неблагоприятными условиями для формирования зерна. В итоге большинство линий по числу и массе зерен незначительно отличались от стандарта Злата, однако линии № 178, 187 и 223 проявили себя как наиболее продуктивные в сравнении с остальными.

Физические свойства зерна (масса 1000 зерен, натура и стекловидность) играют ключевую роль в оценке его посевных и технологических качеств. В наших исследованиях были получены высокие показатели по всем анализируемым параметрам, что указывает на высокую потребительскую и технологическую ценность зерна (табл. 6).

Таблица 6. Характеристика физических свойств зерна яровой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 6. Characteristics of physical properties of spring wheat grain (2022–2023)

Образцы	Масса 1000 зерен, г			Натура, г/л			Стекловидность, %		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
Злата, st	42,5	47,1	44,8	805,5	794,8	800,0	49,3	92,0	70,7
Линия №70	41,7	43,6	42,7	833,5	796,2	815,0	43,3	84,6	64,0
Линия №79	44,0	44,1	44,1	828,4	790,0	809,0	56,2	91,9	74,1
Линия №147	43,5	44,3	43,9	807,6	773,8	791,0	56,6	96,6	76,6
Линия №150	41,8	42,3	42,1	783,9	723,2	754,0	64,6	92,8	78,7
Линия №151	44,9	45,6	45,3	780,3	721,7	751,0	65,3	87,6	76,5
Линия №152	44,2	46,5	45,4	814,8	781,0	798,0	58,5	92,7	75,6
Линия №153	47,0	47,6	47,3	828,4	810,0	819,0	57,8	97,2	77,5
Линия №178	41,2	40,9	41,1	813,3	796,2	805,0	71,6	81,0	76,3
Линия №187	43,2	47,0	45,1	786,3	772,2	779,0	47,0	60,7	53,9
Линия №215	42,7	47,4	45,1	834,7	766,5	801,0	56,6	83,2	69,9
Линия №217	52,7	51,3	52,0	815,6	829,2	822,0	63,7	95,8	79,8
Линия №220	37,8	43,6	40,7	785,3	780,7	783,0	60,8	96,6	78,7
Линия №221	38,6	42,2	40,4	794,1	767,7	781,0	69,3	68,1	68,7
Линия №223	39,3	45,8	42,6	785,0	779,7	782,0	46,8	62,6	54,7
$НСР_{05}$	1,7	1,5	4,9	9,3	22,7	34,8	10,9	5,5	15,8

Масса 1000 зерен. Все изученные линии в оба года исследований показали крупное зерно с массой более 40 г. В 2023 г. масса зерен увеличилась практически у всех образцов. Линии № 215 и 217 выделялись самыми крупными зернами с массой 47,4 и 51, 3 г., а линия № 153 – с массой 47,4 и 51,3 г соответственно по результатам исследование (табл. 6), что свидетельствует о высокой выполненности эндосперма. Это можно объяснить хорошей влагообеспеченностью и более продолжительным межфазным периодом от колошения до спелости. Средняя масса 1000 зерен для стандарта Злата составила 44,8 г, что является высокими показателем (табл. 6).

Натура зерна. В 2022 г. у большинства образцов была сформирована высокая натура зерна, превышающая 800 г/л. В 2023 г. наблюдалось небольшое снижение показателя натуры у изученных линий, кроме линии № 217 и № 153 увеличивали этот показатель с 810,0 до 829,2 г/л. Это делает их перспективными для селекции на высокую натуру и качество зерна. Сорт Злата показал снижение натуры с 805,5 г/л в 2022 г. до 794,8 г/л в 2023 г. (средний показатель 800 г/л) (табл. 6).

Стекловидность зерна. В 2022 г. стекловидность у большинства образцов пшеницы варьировала от 43,3 до 71,6 %. Самыми высокими значениями стекловидности в этом году отличились линии № 178 (71,6 %) и № 221 (69,3 %). В 2023 г. стекловидность у большинства линий выросла, и многие из них, включая стандарт Злата, достигли показателей выше 90 % (табл. 6). В целом все исследуемые образцы яровой пшеницы продемонстрировали высокие показатели массы 1000 зерен, натуры и стекловидности. Линии № 215, 217 и 223 особенно выделяются по всем параметрам и могут быть рекомендованы для использования в селекци-

онных программах, направленных на улучшение качества зерна (табл. 6).

Корреляционный анализ основных агрономических показателей выявил несколько значимых взаимосвязей между изучаемыми характеристиками яровой пшеницы (рис. 1). Масса зерен с колоса проявила высокую положительную корреляцию с числом зерен с колоса (r = 0,83*), что указывает на ключевую роль этого показателя в формировании урожайности. Это свидетельствует о важности сбалансированного развития как генеративных, так и вегетативных органов для повышения общего объема урожая. Таким образом, корреляционный анализ подчеркнул значимость таких признаков, как число и масса зерна с колоса, для повышения урожайности (рис. 1).

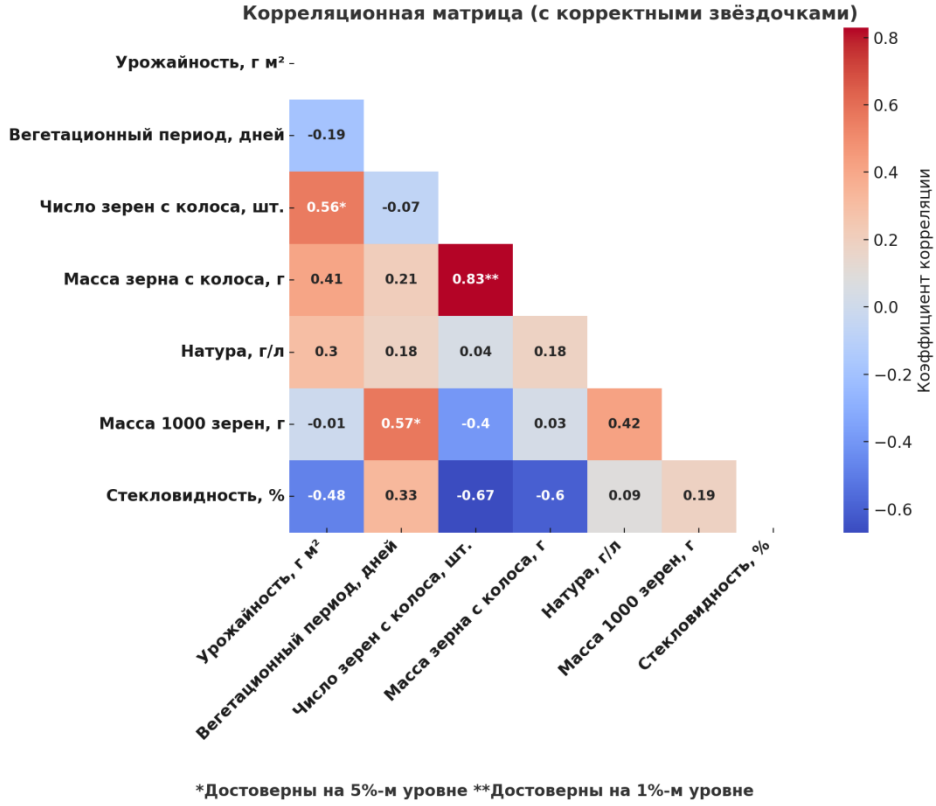


Рис. 1. Матрица корреляционных взаимосвязей элементов структуры урожая (2022–2023 гг.)
Fig. 1. Matrix of correlations among yield structure elements (2022–2023)

Выводы. Синтетические линии яровой пшеницы № 70, 220 и 223, созданные в CIMMYT, являются среднеспелыми для условий Центрального района Нечерноземной зоны, в то время как остальные созревают на 7–10 дней позже стандарта. Линии № 70, 178, 215 и 220 устойчивы к мучнистой росе и бурой ржавчине. Линии № 147, 217 и 223 продемонстрировали наибольшую стабильность по урожайности, что делает их перспективными для селекции.

Основные элементы структуры урожая, влияющие на его величину, – количество и масса зерна с колоса. Линии № 215 и 217 выделились крупными размерами зерен (массой 1000 зерен 47,4 и 51,3 г соответственно), а линии № 217 и 153 показали высокие показатели натуры (свыше 820 г/л). Линии № 153, 217 и 220 достигли стекловидности выше 95 %. В целом линии № 215, 217 и 223 показали высокие значения массы 1000 зерен, натуры и стекловидности, что делает их перспективными для селекционных программ по улучшению качества зерна.

Библиографический список

1. Агеева Е. В., Леонова И. Н., Лихенко И. Е. Полегание пшеницы: генетические и экологические факторы и способы преодоления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 4. С. 356–362. DOI 10.18699/VJ20.628
2. Беркутова, Н. С. Методы оценки и формирования качества зерна. М., 1991. 206 с.
3. Давоян Р. О., Бебякина И. В., Давоян О. Р., Зинченко А. Н., Давоян Э. Р., Кравченко А. М., Зубанова Ю. С. Синтетические формы как основа для сохранения и использования генофонда диких сородичей пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16, № 1. С. 44–51.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

5. Лапочкина И. Ф., Гайнуллин Н. Р., Баранова О. А., Коваленко Н. М., Марченкова Л. А., Павлова О. В., Митрошина О. В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 7. С. 723–731. DOI: 10.18699/VJ21.082

6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / Под общ. ред. М. А. Федина. М., 1988. 122 с.

7. Потоцкая И. В., Чурсин А. С., Шаманин В. П. Создание сортов и селекционного материала челночной селекции с использованием генетического материала синтетической пшеницы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 4(36). С. 61–67.

8. Чирков, Ю. И. Агрометеорология: учебник. Л: Гидрометеоиздат, 1986. 294 с.

9. Cowger C., Bulli P., Chen F., Lillemo M., Maccaferri M. Editorial: Advances in breeding for wheat disease resistance // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 1034506. DOI: 10.3389/fpls.2022.1034506

10. Rosyara U., Kishii M., Payne T., Sansaloni C. P., Singh R. P., Braun H. J., Dreisigacker S. Genetic Contribution of Synthetic Hexaploid Wheat to CIMMYT's Spring Bread Wheat Breeding Germplasm // Scientific reports. 2019. Vol. 9(1), Article number: 12355. DOI: 10.1038/s41598-019-47936-5

References

1. Ageeva E. V., Leonova I. N., Likhenko I. E. Poleganie pshenitsy: geneticheskie i ekologicheskie faktory i sposoby preodoleniya [Wheat lodging: genetic and environmental factors and methods to overcome them] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2020. T. 24, № 4. C. 356–362. DOI 10.18699/VJ20.628

2. Berkutova, N. S. Metody otsenki i formirovaniya kachestva zerna [Methods of estimating and forming grain quality]. M., 1991. 206 s.

3. Davoyan R. O., Bebyakina I. V., Davoyan O. R., Zinchenko A. N., Davoyan E. R., Kravchenko A. M., Zubanova Yu. S. Sinteticheskie formy kak osnova dlya sokhraneniya i ispol'zovaniya genofonda dikikh sorodichei pshenitsy [Synthetic forms as a basis for preserving and using the gene pool of wild wheat relatives] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2012. T. 16, № 1. S. 44–51.

4. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.

5. Lapochkina I. F., Gainullin N. R., Baranova O. A., Kovalenko N. M., Marchenkova L. A., Pavlova O. V., Mitroshina O. V. Kompleksnaya ustoichivost' linii yarovoi i ozimoi myagkoi pshenitsy k bioticheskim i abioticheskim stressam [Complex resistance of spring and winter common wheat lines to biotic and abiotic stresses] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 7. C. 723–731. DOI: 10.18699/VJ21.082

6. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kul'tur [Methodology of the state variety testing of agricultural crops. Technological estimation of grain crops, groats, and legumes] / Pod obshch. red. M. A. Fedina. M., 1988. 122 s.

7. Pototskaya I. V., Chursin A. S., Shamanin V. P. Sozdanie sortov i selektsionnogo materiala chelnochnoi selektsii s ispol'zovaniem geneticheskogo materiala sinteticheskoi pshenitsy // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Development of varieties and breeding material of shuttle breeding using the genetic material of synthetic wheat]. 2019. № 4(36). S. 61–67.

8. Chirkov, Yu. I. Agrometeorologiya: uchebnik [Agrometeorology]. L: Gidrometeoizdat, 1986. 294 s.

9. Cowger C., Bulli P., Chen F., Lillemo M., Maccaferri M. Editorial: Advances in breeding for wheat disease resistance // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 1034506. DOI: 10.3389/fpls.2022.1034506

10. Rosyara U., Kishii M., Payne T., Sansaloni C. P., Singh R.P., Braun H. J., Dreisigacker S. Genetic Contribution of Synthetic Hexaploid Wheat to CIMMYT's Spring Bread Wheat Breeding Germplasm // Scientific reports. 2019. Vol. 9(1), Article number: 12355. DOI: 10.1038/s41598-019-47936-5

Поступила: 13.09.24; доработана после рецензирования: 25.10.24; принята к публикации: 28.10.24.

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. Наджодов Б. Б. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Рубец В. С. – общее научное руководство, критический анализ текста; Баженова С. С. – концептуализация исследований; Пыльнев В. В. – концептуализация исследований, финальная доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 631.576.331.2:633.11:581.192.2 DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-42-48

ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ПО КЛЕЙКОВИННО-БЕЛКОВОМУ КОМПЛЕКСУ ЗЕРНА

О. А. Костыленко, агроном лаборатории биохимической и технологической оценки, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;
Н. Г. Игнатьева, техник-исследователь лаборатории биохимической и технологической оценки, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;
Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической и технологической оценки, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;
А. С. Иванисова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Высокие требования, предъявляемые современными перерабатывающими предприятиями по изготовлению макаронных изделий к качеству зерна Triticum durum, диктуют необходимость использования дополнительных методов, подходов по оценке селекционного материала и отбору высококачественных генотипов. Целью данного исследования являлось выявление источников ценных признаков озимой твердой пшеницы для целенаправленного включения в селекционные программы по созданию сортов с прочной клейковиной. Полевые опыты проводили в 2022–2024 гг. в лаборатории селекции и семеноводства твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Лабораторные исследования были проведены в лаборатории биохимической и технологической оценки в соответствии с методиками и ГОСТами. Материалом для исследований послужили сорта межстанционного сортоиспытания (n = 36). В качестве стандарта использовали сорт Кристелла. В результате изучения были выделены сорта – источники высокого содержания белка и клейковины. Также были выделены сорта с высоким качеством клейковины по SDS-седиментации, ИДК и индексу глютена. Было выявлено, что индекс глютена лимитировал качество клейковины. Выделены сорта Диона и Гавань с прочной клейковиной. Представлены результаты корреляционного анализа по сопряженности признаков качества зерна. Установлены наиболее доступные информативно значимые признаки – содержание белка, количество клейковины и ее качество (ИДК), SDS-седиментация, индекс глютена, оказывающие определяющее влияние на прочность клейковины, которые можно использовать в качестве критериев отбора в процессе селекции, в том числе и на ранних этапах.

Ключевые слова: *сорт, содержание белка, общий глютен, индекс глютена, SDS-седиментация.*
Для цитирования: *Костыленко О. А., Игнатьева Н. Г., Кравченко Н. С., Иванисова А. С. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по клейковинно-белковому комплексу зерна // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 42–48. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-42-48.*

(cc) BY

CHARACTERISTICS OF WINTER DURUM WHEAT VARIETIES ACCORDING TO GLUTEN-PROTEIN COMPLEX OF GRAIN

O. A. Kostylenko, agronomist of the laboratory for biochemical and technological estimation, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;
N. G. Ignatieva, technician-researcher of the laboratory for biochemical and technological estimation, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;
N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical and technological estimation, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;
A. S. Ivanisova, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter durum wheat; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The high demands to the quality of Triticum durum grain place by modern pasta processing plants dictate the need to use additional methods and approaches to estimating breeding material and selecting high-quality genotypes. The purpose of the current study was to identify sources of valuable traits of winter durum wheat for targeted inclusion in breeding programs to develop varieties with strong gluten. Field trials were conducted in the laboratory for breeding and seed production of winter durum wheat of the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2022–2024. Laboratory study was conducted in the laboratory of biochemical and technological estimation in accordance with the methods and GOSTs. The material for the study was a set of the varieties of the inter-station variety testing (n = 36). The variety 'Kristella' was used as a standard. As a result of the study, there were identified the varieties as the sources of high protein and gluten percentage. There were also identified the varieties with high gluten quality according to SDS sedimentation, IDC, and gluten index. There was found that the gluten index limited the gluten quality. There were identified the varieties 'Diona' and 'Gavan' with strong gluten. There have been presented the results of the correlation between grain quality traits. There have been established the most accessible informatively significant traits

such as protein percentage, gluten quantity and quality (IDC), SDS-sedimentation, gluten index, which have a decisive effect on gluten strength and can be used as breeding criteria in the breeding process, including at early stages.

Keywords: *variety, protein percentage, total gluten, gluten index, SDS-sedimentation.*

Введение. Твердая пшеница (*Triticum durum*) является предпочтительным сырьем для производства высококачественных макаронных изделий, кускуса, булгура и других круп.

Качество озимой твердой пшеницы складывается из порядка 20 признаков, которые можно подразделить на физико-химические свойства зерна, реологические свойства крупки (теста) и потребительские свойства макарон. Селекция на улучшение какого-либо одного признака может сопровождаться ограничением на изменение других (не менее ценных). Задача селекционера – найти такое сочетание, чтобы сохранить их или хотя бы не ухудшить в связи с усилением других (Самофалова и др., 2022).

Содержание белка, клейковины, а также качество запасного белка твердой пшеницы оказывают большое влияние на реологические свойства теста и качество приготовления макаронных изделий (Мальчиков и Мясникова, 2023).

Обычно считается, что макаронные изделия из пшеницы с сильной клейковиной имеют большую твердость и устойчивость при приготовлении, тогда как макаронные изделия из пшеницы со слабой клейковиной склонны к быстрой порче и становятся мягкими при варке (Rai et al., 2019).

Пищевая ценность готового продукта зависит от общего количества белка и его состава. Поскольку прочность клейковины – важный фактор для производства макаронных изделий, она является центральным критерием отбора при создании сортов. Задача селекционеров заключается в применении методов скрининга для отбора, которые тесно связаны с качеством зерна, крупы и макаронных изделий, эффективных для получения сортов с необходимыми характеристиками (Natoli et al., 2021).

Количество белка и клейковины является важным критерием отбора образцов в процессе селекции (Розова и др., 2022). Эти показатели качества включены в ГОСТ 9353-2016 и нормируются требованиями Государственной комиссии по сортоиспытанию.

Качество клейковины устанавливают посредством определения индекса деформации клейковины (ИДК), а также на ранних этапах селекции с помощью определения SDS-седиментации из-за недостаточного количества зерна. Индекс деформации клейковины включен в ГОСТ 9353-2016, а SDS-седиментация является общепринятым и широко применимым методом оценки генотипов пшеницы на первоначальных этапах процесса селекции (Мальчиков и др., 2023).

Первое определение «индекса глютена» (GI) в твердой пшенице было проведено 20 лет назад, однако за прошедший период опубликовано очень мало данных. Это особенно касается сортов озимой твердой пшеницы.

Индекс глютена (GI), или индекс клейковины – условный показатель реологических свойств клейковины, рассчитываемый как отношение массы клейковины, оставшейся на сетке в кассете после ее центрифугирования, к общей массе отмытой клейковины. Соотношение этих частей определяется силой клейковины. Применение этого метода позволяет дополнительно оценить генотипы по прочности клейковины в соответствии с международными стандартами ISO, ICC и AACC.

Сорта пшеницы на основе индекса клейковины можно сгруппировать следующим образом: GI 91–100 % – очень сильная клейковина, 71–90 % – сильная клейковина, 31–70 % – умеренно сильная клейковина и менее 31 % указывает на слабую клейковину (AbuHammad et al., 2012).

Так как количество белка, клейковины и их качество – это важные значимые признаки, от выраженности которых в значительной степени зависит качество конечного продукта, изучение и выявление селекционного материала с необходимым сочетанием этих признаков является актуальной задачей ученых.

Целью данного исследования являлось выявление источников ценных признаков озимой твердой пшеницы для целенаправленного включения в селекционные программы по созданию сортов с прочной клейковиной.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты были проведены в 2022–2024 годах. В питомнике межстанционного сортоиспытания изучали 36 сортов озимой твердой пшеницы, из которых 16 созданы в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Россия), 6 образцов – из научных учреждений Украины, 10 сортов – НЦЗ им. П. П. Лукъяненко (Россия), 1 сорт – из Италии, 2 сорта – селекции СК ФНАЦ, г. Ставрополь (Россия) и 1 сорт – Самарская область ООО «Кошелевский посад» (Россия).

Предшественник – сидеральный пар, норма высева – 450 всхожих семян на 1 м^2, площадь делянки – 10 м^2, посев проводили в двукратной повторности. Стандарт – Кристелла. Закладку опыта, учеты и наблюдения проводили согласно Методике полевого опыта (2014) и Государственного сортоиспытания (1989).

Лабораторные опыты выполняли в лаборатории биохимической и технологической оценки ФГБНУ «АНЦ «Донской»: содержание общего азота определяли по ГОСТ 10846-91; SDS-седиментацию – в соответствии с научно-практическими рекомендациями (2014); индекс глютена (GI) (%), общий глютен (%) и общий сухой глютен (%) определяли в соответствии с ГОСТ ISO 21415-2-2019, количество и качест-

во клейковины определяли в соответствии с ГОСТ Р 54478-2011.

Корреляционный анализ между признаками качества зерна проводили по Б. А. Доспехову (2014): r < 0,3 корреляционная зависимость между величинами слабая, r = 0,3–0,7 – средняя, r > 0,7 – сильная.

Результаты и их обсуждение. Белок является важным компонентом зерна, который влияет на технологические свойства пшеницы *T. durum*. Известно, что количество и состав белка могут влиять на реологию теста и качество макаронных изделий. По содержанию общего азота в зерне (количеству белка) было установлено варьирование от 13,23 % (Цель, Россия) до 14,82 % (Добряна, Россия) (рис. 1).

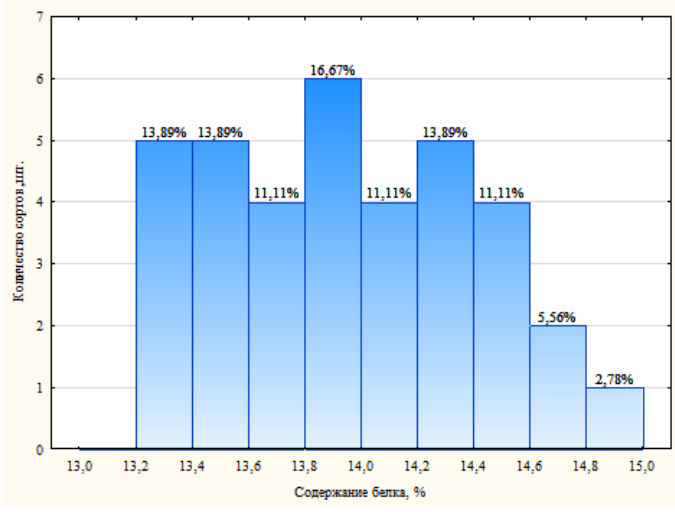


Рис. 1. Распределение сортов озимой твердой пшеницы по содержанию белка в зерне (2022–2024 гг.)
Fig. 1. Distribution of winter durum wheat varieties according to protein percentage in grain (2022–2024)

Наиболее ценными для селекции являются сорта, у которых содержание белка было выше 14,0 %, к этой группе относилось 44,45 %, или 16 сортов. Максимальная выраженность признака выявлена у следующих генотипов: Кристелла (Россия) – 14,50 %, Амазонка (Россия) – 14,62 %, Агат донской (Россия) – 14,47 %, Диона (Россия) – 14,35 %, Яхонт (Россия) – 14,50 %, Юбилярка (Россия) – 14,28 %, Янтарина (Россия) – 14,38 %, Услада (Россия) – 14,24 %, Динас (Россия) – 14,10 %, Эллада (Россия) – 14,05 %, Хризолит (Россия) – 14,50 %, Придонье (Россия) – 14,02 %, Гавань (Украина) – 14,31 %, Живица (Россия) – 14,70 %, Добряна (Россия) – 14,82 % и Рустикано (Италия) – 14,03 %. Выделенные сорта авторы рекомендуют включать в селекционный процесс в качестве источников высокой белковости зерна.

Одним их важных признаков, влияющих на качество конечного продукта, является количество клейковины в зерне. В соответствии с «ручным» методом выявлено варьирование этого признака от 24,8 % (Акведук, Украина) до 29,0 % (Добряна, Россия) (рис. 2).

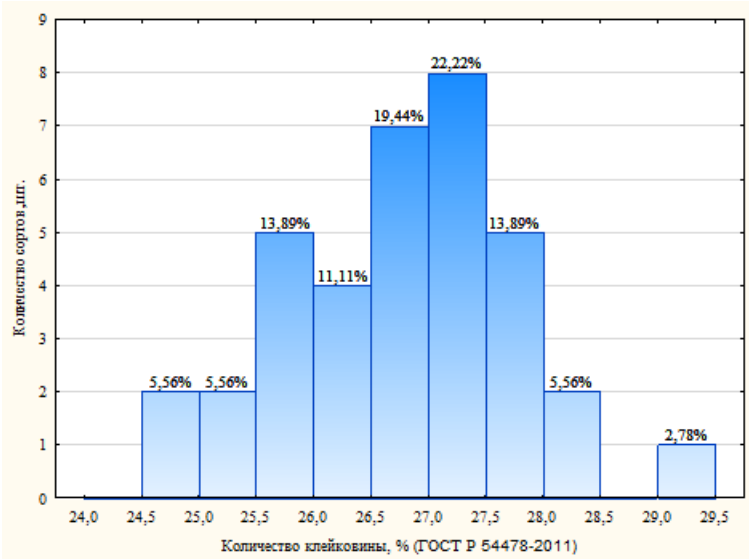


Рис. 2. Распределение сортов озимой твердой пшеницы по количеству клейковины в зерне (2022–2024 гг.)
Fig. 2. Distribution of winter durum wheat varieties according to gluten content in grain, (2022–2024)

Проведенные исследования позволили установить сорта, сформировавшие содержание клейковины на уровне 1-го класса качества (ГОСТ 9353-2016): Добряна (Россия) – 29,0 %, Агат донской (Россия) – 28,3 % и Янтарина (Россия) – 28,0 %. Стандартный сорт (27,8 %) превысил только сорт Добряна ($НСР_{05}$ = 1,0 %).

Индекс деформации (ИДК) относится к показателям, которые характеризуют качество и упругость клейковины.

К сортам твердой пшеницы по этому признаку предъявляются требования 18–102 единицы прибора.

В результате проведенных исследований установлено варьирование выраженности индекса деформации клейковины от 67 единиц (Гавань, Украина) до 113 единиц прибора (Каравелла, Украина). Если применить данные требования, то большинство сортов соответствовало 2-му классу качества (рис. 3).

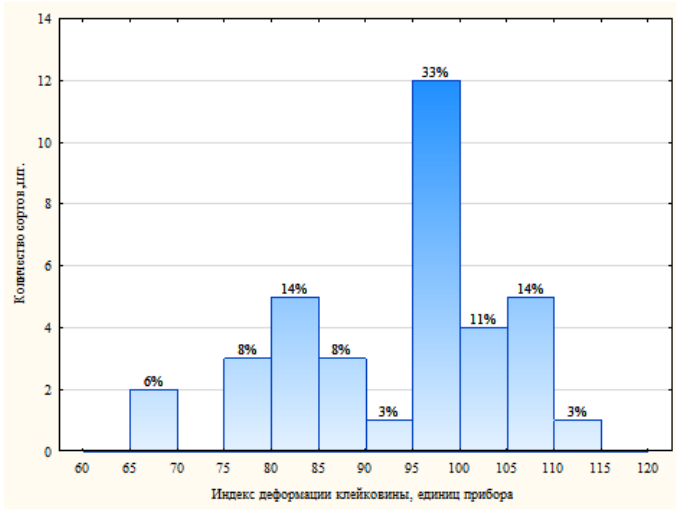


Рис. 3. Распределение сортов озимой твердой пшеницы по индексу деформации клейковины (2022–2024 гг.)
Fig. 3. Distribution of winter durum wheat varieties according to gluten deformation index (2022–2024)

В результате проведенных исследований выделены сорта с наилучшей выраженностью признака «индекс деформации клейковины»: Кристелла, стандарт (Россия) – 89 ед. п., Диона (Россия) – 80 ед. п., Эйрена (Россия) – 83 ед. п., Яхонт (Россия) – 88 ед. п., Янтарина (Россия) – 85 ед. п., Придонье (Россия) – 82 ед. п., Графит (Россия) – 81 ед. п., Гавань (Украина) – 67 ед. п., Добряна (Россия) – 87 ед. п., Синьора (Россия) – 81 ед. п., Белла (Россия) – 68 ед. п., Гордеиформе 771 (Россия) – 80 ед. п. и Рустикано (Италия) – 80 ед. п.

SDS-седиментация – это непрямой метод определения количества и качества белка, который широко применяется в селекции для отбора ценных образцов на ранних этапах селекции.

В результате проведенных исследований было установлено варьирование значений седиментационного осадка от 33 мл (Белка, Россия) до 46 мл (Диона, Россия) (рис. 4).

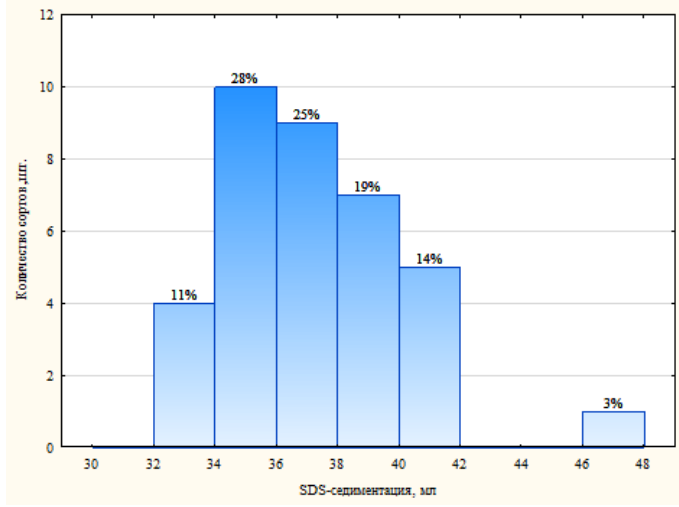


Рис. 4. Распределение сортов озимой твердой пшеницы по SDS-седиментации (2022–2024 гг.)
Fig. 4. Distribution of winter durum wheat varieties according to SDS-sedimentation (2022–2024)

У сорта Кристелла выявлено, что седиментационный осадок был 38 мл. Величиной SDS-седиментации, превышающей стандарт ($НСР_{05}$ = 3 мл), за годы изучения характеризовались сорта Амазонка (Россия) – 41 мл, Агат донской (Россия) – 40 мл, Диона (Россия) – 46 мл, Эйрена (Россия) – 41 мл, Янтарина (Россия) – 42 мл, Услада (Россия) – 40 мл, Гавань (Украина) – 41 мл и Рустикано (Италия) – 42 мл, что делает эти генотипы ценными источниками высокого качества белка и клейковины.

В результате исследований показателей, определяемых с помощью «Глютоматика», было выявлено варьирование «общего глютена» от 24,8 % (Бурштин, Украина) до 36,0 % (Янтарина, Россия). Максимальные значения «общего глютена», то есть количества сырой клейковины, превышающие стандарт ($НСР_{05}$ = 1,5 %), отмечены у сортов Янтарина (Россия) – 36,0 %, Яхонт (Россия) – 34,3 %, Лакомка (Россия) – 34,8 %, Придонье (Россия) – 34,0 %, Каротинка (Россия) – 33,1 % и Добряна (Россия) – 34,6 %.

Содержание общего сухого глютена варьировало от 8,9 % (Гордеиформе 771, Россия) до 11,7 % (Янтарина, Россия).

В результате проведенных исследований установлено варьирование значений индекса глютена в широких пределах от 3 % (Акведук, Украина) до 88 % (Гавань, Украина) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по показателям качества клейковины по ГОСТ ISO 21415-2-2019
Table 1. Characteristics of winter durum wheat varieties according to gluten quality indicators on GOST ISO 21415-2-2019

Сорт	Происхождение	ГОСТ ISO 21415-2-2019		
		Общий глютен, %	Общий сухой глютен, %	Индекс глютена, %
Кристелла, st	Россия	31,6	10,9	7
Амазонка	Россия	29,8	10,4	4
Агат донской	Россия	32,9	11,1	8
Диона	Россия	29,7	10,1	85
Эйрена	Россия	28,4	9,8	68
Яхонт	Россия	34,3	11,3	47
Юбилярка	Россия	31,7	11,0	4
Янтарина	Россия	36,0	11,7	49
Услада	Россия	31,1	10,6	6
Лакомка	Россия	34,8	11,6	13
Динас	Россия	31,2	10,9	5
Эллада	Россия	32,5	11,1	8
Хризолит	Россия	32,6	11,1	13
Придонье	Россия	34,0	11,1	42
Каротинка	Россия	33,1	11,2	14
Графит	Россия	28,8	9,6	28
Каравелла	Украина	30,5	10,8	5
Континент	Украина	29,0	10,1	6
Бурштин	Украина	24,8	8,9	19
Андромеда	Украина	27,4	9,4	7
Акведук	Украина	31,5	10,9	3
Гавань	Украина	31,2	10,8	88
Кошелевская	Россия	30,0	10,5	5
Живица	Россия	28,3	9,8	5
Цитрина	Россия	27,6	9,7	5
Одари	Россия	28,1	9,6	14
Кордон	Россия	29,1	10,2	5
Добряна	Россия	34,6	11,6	27
Синьора	Россия	29,6	10,0	19
Белла	Россия	29,2	9,8	23
Белка	Россия	27,3	9,2	18
Цель	Россия	27,9	9,7	5
Крупинка	Россия	30,3	10,3	7
Л 4089 h94	Россия	32,1	10,8	12
Гордеиформе 771	Россия	25,9	8,9	5
Рустикано	Италия	26,5	9,5	4
min–max	–	24,8–36,0	8,9–11,7	3–88
$НСР_{05}$	–	1,5	0,8	27

Применив классификацию по этому показателю, которая приведена выше, изучаемые сорта можно разделить на группы.

1. Группа сортов со слабой клейковиной (менее 31 %) – Кристелла, стандарт, Амазонка, Агат донской, Юбилярка, Услада, Лакомка, Динас, Эллада, Хризолит, Каротинка, Графит, Каравелла, Континент, Бурштин, Андромеда, Акведук, Кошелевская, Живица, Цитрина, Одари, Кордон, Добряна, Синьора, Белла, Белка, Цель, Крупинка, Л 4089 h94, Гордеиформе 771 и Рустикано.

2. Группа сортов с умеренно сильной клейковиной (31–70 %) – Эйрена, Яхонт и Придонье.

3. Группа сортов с сильной клейковиной (71–90 %) – Диона и Гавань.

4. Сортов с очень сильной клейковиной (91–100 %) не выявлено среди изучаемых сортов.

В результате проведенных оценок установлено, что «индекс глютена» – признак, который лимитирует качество зерна сортов озимой твердой пшеницы. Изучение этого признака и поиск источников высоких значений необходимо продолжить, а сорта Диона (Россия) и Гавань (Украина) использовать в селекции на повышение прочности клейковины.

В практической работе необходимо знать и учитывать характер и тесноту генотипических взаимосвязей между контролируемыми в процессе селекции характеристиками. Это касается и такого сложного свойства, состоящего из большого количества признаков, как качество зерна.

Корреляционный анализ позволяет выявить на практике положительные и отрицательные факторы и обратить внимание на минимализацию наиболее неблагоприятных из них, упрощает отбор, ускоряет и повышает эффективность селекционного процесса. Кроме того, определение сопряженности признаков нужно для уточнения направления отбора (Самофалова и др., 2022).

В результате определения коэффициентов корреляции Пирсона были установлены различные взаимосвязи между изучаемыми признаками – от слабых до средних и сильных, прямых и обратных (табл. 2).

Таблица 2. Корреляционные взаимосвязи между изучаемыми признаками
Table 2. Correlation between the studied traits

Признак	Содержание общего азота, %	Количество клейковины, %	ИДК, единиц прибора	Общий глютен, %	Общий сухой глютен, %	Индекс глютена, %	SDS-седиментация, мл
Содержание общего азота, %	1,000	–	–	–	–	–	–
Количество клейковины, %	0,707*	1,000	–	–	–	–	–
ИДК, единиц прибора	-0,076	-0,281	1,000	–	–	–	–
Общий глютен, %	0,491*	0,432*	-0,054	1,000	–	–	–
Общий сухой глютен, %	0,536*	0,414*	0,062	0,971*	1,000	–	–
Индекс глютена, %	0,254	0,218	-0,623*	0,202	0,111	1,000	–
SDS-седиментация, мл	0,373*	0,286	-0,418*	0,131	0,098	0,614*	1,000

** – корреляции значимы на уровне p < 0,05*

В результате определения парных коэффициентов корреляции Пирсона было установлено, что содержание общего азота (белка) находилось в тесной взаимосвязи с количеством клейковины (r = 0,707), определенной ручным методом, общим глютеном (r = 0,491) и общим сухим глютеном (r = 0,536), выявленными с помощью прибора «Глютоматик». Установлена значимая положительная взаимосвязь между содержанием белка и SDS-седиментацией (r = 0,373), что свидетельствует о том, что это информативно значимые критерии отбора образцов по содержанию белка и клейковины.

Признаки, характеризующие качество клейковины, отрицательно коррелировали между собой (индекс деформации клейковины с индексом глютена r = -0,623 и индекс деформации клейковины с SDS-седиментацией r = -0,418). Индекс глютена находился в тесной корреляции с объемом седиментации SDS (r = 0,614).

В результате проведенного корреляционного анализа было установлено, что величина общего сухого глютена положительно коррелировала с содержанием белка (r = 0,536), с содержанием клейковины (r = 0,414) и с общим глютеном (r = 0,971), что делает этот показатель дополнительной характеристикой количества клейковины в зерне.

Следовательно, при отборе селекционных форм и линий озимой твердой пшеницы по содержанию белка, количеству и качеству клейковины нужно учитывать все изучаемые признаки и индекс глютена в качестве дополнительного теста для отбора сортов с сильной клейковиной.

Выводы. В результате проведенных исследований были выявлены сорта Диона (Россия) и Гавань (Украина), которые выделились по че-

тырем из изученных признаков и характеризовались высоким содержанием белка, клейковины и обладали прочной клейковиной. Эти генотипы рекомендуются для использования в селекционном процессе как источники полезных признаков.

В результате проведенных оценок установлено, что «индекс глютена» – признак, который лимитирует качество зерна сортов озимой твердой пшеницы. Рекомендуем продолжить изучение этого признака и поиск источников с прочной клейковиной.

Таким образом, измерение индекса глютена может успешно использоваться в программах селекции озимой твердой пшеницы для улучшения прочности клейковины новых сортов.

Библиографический список

1. 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

2. Мальчиков П. Н., Шаболкина Е. Н., Мясникова М. Г., Пронович Л. В. Качество клейковины сортов яровой твердой пшеницы Самарского НИИСХ и информативность параметров качества // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 6. С. 37–43. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_37

3. Розова М. А., Барышева Н. В., Зиборов А. И., Егиазарян Е. Е. Оценка генофонда яровой твердой пшеницы по показателю SDS-седиментации // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 6. С. 17–23. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_6_17

4. Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Безуглая Т. С., Кравченко Н. С., Иванисова А. С., Кабанова Н. В., Дубинина О. А. Сопряженность признаков качества зерна, крупки и макарон у пшеницы твердой озимой // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 62–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-824-62-69

5. AbuHammad W. A., Elias E. M., Manthey F. A., Alamri M. S., Mergoum M. A comparison of methods for assessing dough and gluten strength of durum wheat and their relationship to pasta cooking quality // International Journal of Food Science & Technology. 2012. Vol. 47. P. 2561–2573. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03135.x

6. Natoli V., Malchikov P., Dolaberidze S., Shevchenko S., De Vita P. Genetic improvement for gluten strength in russian spring durum wheat genotypes // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 186. P. 301–312. DOI: 10.1007/978-3-030-66093-2_29

7. Rai A., Sing A. M., Ganjewala D. Kumar R. R, Ahlawat A. K., Singh S. K., Sharma P., Jain N. Rheological evaluations and molecular marker analysis of cultivated bread wheat varieties of India // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 1696–1707. DOI: 10.1007/s13197-019-03593-0

References

1. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G. Metody opredeleniya kachestva kleikoviny i otsenki reologicheskikh svoistv tverdoi pshenitsy (obzor) [Methods for evaluating gluten quality 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

2. Mal'chikov P. N., Shabolkina E. N., Myasnikova M. G., Pronovich L. V. Kachestvo kleikoviny sortov yarovoi tverdoi pshenitsy Samarskogo NIISKh i informativnost' parametrov kachestva [Gluten quality of spring durum wheat varieties of the Samara Research Institute of Agriculture and the information content of quality parameters] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 6. S. 37–43. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_37

3. Rozova M. A., Barysheva N. V., Ziborov A. I., Egiazaryan E. E. Otsenka genofonda yarovoi tverdoi pshenitsy po pokazatelyu SDS-sedimentatsii [Estimation of the gene pool of spring durum wheat according to SDS-sedimentation] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 6. S. 17–23. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_6_17

4. Samofalova N. E., Ilichkina N. P., Bezuglaya T. S., Kravchenko N. S., Ivanisova A. S., Kabanova N. V., Dubinina O. A. Sopryazhennost' priznakov kachestva zerna, krupki i makaron u pshenitsy tverdoi ozimoi [Correlation of grain, middlings, and pasta quality traits in durum winter wheat] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 4. S. 62–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-824-62-69

5. AbuHammad W. A., Elias E. M., Manthey F. A., Alamri M. S., Mergoum M. A comparison of methods for assessing dough and gluten strength of durum wheat and their relationship to pasta cooking quality // International Journal of Food Science & Technology. 2012. Vol. 47. P. 2561–2573. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03135.x

6. Natoli V., Malchikov P., Dolaberidze S., Shevchenko S., De Vita P. Genetic improvement for gluten strength in russian spring durum wheat genotypes // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 186, P. 301–312. DOI: 10.1007/978-3-030-66093-2_29

7. Rai A., Sing A. M., Ganjewala D. Kumar R. R, Ahlawat A. K., Singh S. K., Sharma P., Jain N. Rheological evaluations and molecular marker analysis of cultivated bread wheat varieties of India // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 1696–1707. DOI: 10.1007/s13197-019-03593-0

Поступила: 16.10.24; доработана после рецензирования: 12.11.24; принята к публикации: 13.11.24.

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. Костыленко О. А., Кравченко Н. С. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Иванисова А. С. – проведение полевого опыта; Игнатьева Н. Г., Костыленко О. А. – проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.112.9:631.527:631.523.4 **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-49-55**

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЯРОВЫХ ФОРМ ТРИТИКАЛЕ ПО НЕКОТОРЫМ КОЛИЧЕСТВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ

П. И. Степочкин, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генофонда растений, stepopetr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1136-0469;
Т. С. Брауэр, лаборант лаборатории генофонда растений, serebro578@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-9260-411X
Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук,
630501, Новосибирская обл., р. пос. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1; e-mail: sibniirs@bk.ru

Исследование проводили с целью оценки и выбора для гибридизации яровых селекционных и коллекционных форм тритикале на основе расчета вклада количественных признаков в продуктивность колоса растений и в натуру зерна. Материал вручную высевали в 2021 г. и в 2023 г. по черному пару на делянках 0,5 м^2. Были изучены 32 образца яровой тритикале из мировой коллекции ВИР и созданная на основе гибридизации полбы *T.dicoccum* (Schrank) Schuebl. с факультативной формой тритикале УК30/33 (×*Triticosecale* Wittmack ex A. Camus) 31 селекционная форма пшенично-ржаных амфиплоидов по комплексу количественных признаков, имеющих корреляцию с весом зерна с колоса растения и с натурой зерна. Выбор лучших форм пшенично-ржаных амфиплоидов проведен с применением метода корреляционного анализа и на основе разработанных алгоритмов расчета коэффициента значимости и общей оценки по комплексу признаков. В расчет принимали вклад каждого признака в вес зерна с колоса и в натуру зерна. По рассчитанной высокой селекционной ценности на основе комплекса наиболее важных признаков яровых тритикале отобраны по 10 коллекционных образцов тритикале и 10 селекционных форм пшенично-ржаных амфиплоидов с цитоплазмой полбы. Три образца тритикале из мировой коллекции ВИР – Susi (к-3535), Кармен (к-3933) и Арсенал (к-3874) показали короткий межфазный период «всходы–колошение» – 44–48 суток в 2021 г. и 33–38 суток в 2023 г., вес зерна с колоса, превышающий 3 г, массу 1000 зерен (более 46 г). Они выбраны в качестве родительских форм для гибридизации в селекционной программе. Селекционные формы, созданные на основе скрещиваний полбы с тритикале, характеризуются натурой зерна, превышающей 700 мл/г. Они будут использоваться в дальнейшей проработке в селекционных питомниках.

Ключевые слова: *тритикале, признак, оценка, гибрид, селекция.*

Для цитирования: *Степочкин П. И., Брауэр Т. С. Сравнительная оценка яровых форм тритикале по некоторым количественным признакам // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 49–55. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-49-55.*

(cc) BY

COMPARATIVE ESTIMATION OF SPRING FORMS OF TRITICALE ACCORDING TO SOME QUANTITATIVE TRAITS

P. I. Stepochkin, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, laboratory of the plant gene pool, stepopetr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1136-0469;
T. S. Bauer, laboratory assistant, laboratory of the plant gene pool, serebro578@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-9260-411X
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
630501, Novosibirsk region, v. of Krasnoobsk, S-200 Str., building 5/1; e-mail: sibniirs@bk.ru

The study was conducted to estimate and select spring breeding and collection forms of triticale for hybridization based on the calculation of the contribution of quantitative traits to plant ear productivity and to grain nature weight. The material was manually laid in black fallow on the plots of 0.5 m2 in 2021 and 2023. There were studied thirty-two spring triticale samples from the world collection of VIR and 31 breeding forms of wheat-rye amphiploids developed on the basis of hybridization of emmer wheat *T.dicoccum* (Schrank) Schuebl. with the facultative form of triticale UK30/33 (×*Triticosecale* Wittmack ex A. Camus) according to a set of quantitative traits that correlate with grain weight per ear and with grain nature weight. The selection of the best forms of wheat-rye amphiploids was carried out using the method of correlation analysis and based on the developed algorithms for calculating the coefficient of significance and the general estimation according to a set of traits. There was considered a contribution of each trait to grain weight per ear and with grain nature weight. According to the calculated high breeding value based on a set of the most important traits of spring triticale, there were selected 10 collection samples of triticale and 10 breeding forms of wheat-rye amphiploids with emmer cytoplasm. Three triticale samples ‘Susi (k-3535)’, ‘Karmen (k-3933)’ and ‘Arsenal (k-3874)’ from the world collection of VIR showed a 44–48-day interphase sprouts-heading period in 2021 and 33–38 days in 2023, more than 3 g of grain weight per ear, more than 46 g of 1000-grain weight. They have been selected as parental forms for hybridization in the breeding program. The breeding forms developed based on emmer crossings with triticale were characterized by a grain nature weight exceeding 700 ml/g. They are going to be used in further breeding.

Keywords: *triticale; trait; estimation; hybrid; breeding.*

Введение. Искусственно созданная сельскохозяйственная культура тритикале стала востребована для возделывания благодаря сочетанию ценных признаков и свойств, таких как высокая урожайность, зимостойкость (Потапова и др., 2022), неприхотливость к почвенным и климатическим условиям, высокая отзывчивость на плодородие почвы и применение удобрений, качество зерна, высокая продуктивность зеленой массы для скармливания сельскохозяйственным животным, высокое содержание антиоксидантов в зерне (Janczak-Pieniazek et al., 2023). Растения тритикале также обладают высокой устойчивостью к ряду заболеваний (Mergoum et al., 2019; Miedaner et al., 2022), что делает ее экологически привлекательной культурой. Это объясняется тем, что гены устойчивости, например к мучнистой росе, локализованы как в хромосомах пшеницы, так и в хромосомах ржи.

Тритикале как искусственно созданная зерновая культура в селекционном плане более сложная, чем злаки, прошедшие длительный эволюционный процесс в природе. Требуется множество поколений для адаптации чужеродных геномов в первичных формах сложных организмов, полученных от скрещивания пшеницы с рожью (Kalinka and Achrem, 2018). Поэтому селекцию этой культуры вести труднее, чем пшеницы или ржи, особенно если необходимо вести отбор не по одному, а по комплексу признаков. Они могут иметь разную ценность и вклад в основной из них – продуктивность или урожайность зерна с единицы площади.

При этом необходимо учитывать долю вклада отдельных признаков в общую оценку. Селекционер может это делать, опираясь на собственную интуицию и опыт работы. Усовершенствовать эту работу можно с использованием корреляционного анализа.

Целью данной работы была сравнительная оценка яровых селекционных и коллекционных форм тритикале на основе расчета вклада определенного признака в продуктивность колоса растений и в натуру зерна с применением метода корреляционного анализа.

Материалы и методы исследований. Для изучения были выбраны не поражаемые спорыньей в течение четырех лет 32 образца яровой тритикале из мировой коллекции ВИР (Коллекция) и 31 селекционная форма (F_8 в 2021 г. и F_9 в 2023 г.) с цитоплазмой полбы (ДТ), созданная на основе межвидовой гибридизации сложного гибрида полбы *T. dicoccum* (Schrank) Schuebl. с факультативной формой тритикале УК30/33 (×*Triticosecale* Wittmack ex A. Camus). Критерием отбора гибридов для изучения были вымолачиваемость зерна из чешуек свыше 80 % и неломкий колосовой стержень. Те гибриды полбы с тритикале, которые начиная с F_7 не расщеплялись по качественным и количественным признакам, были занесены в селекционные формы тритикале. Коллекционные и селекционные пшенично-ржаные амфиплоиды высевали в питомнике ручного сева для сравнительного изучения в полевых условиях на делянках 0,5 м^2 из трех рядков по 80 семян каждого образца в рядок длиной 0,85 м на паровом участке 10–11 мая в 2021 г. и 12–13 мая в 2023 году. Севооборот на опытном участке Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции: пар – опыты зерновых культур – пар. Почва – выщелочный чернозем с содержанием гумуса в пахотном слое до 9%, с преобладанием в составе катионов – кальция (до 85 %) и магния (до 10 %).

Среднемесячная температура воздуха в летний период 2021 г. была близка к среднемноголетней с неравномерным распределением осадков. В мае 2021 г. была жаркая сухая погода, среднемесячная температура воздуха 14,3 °С, что на 2,4 °С выше среднемноголетних данных, осадков выпало 25 мм, или 68 % от нормы. В июне было отмечено избыточное увлажнение (ГТК = 1,51). В июле установилась жаркая и сухая погода (ГТК = 0,57). Август был теплым, оптимально увлажненным (ГТК = 1,20).

Вегетационный период 2023 г. был недостаточно увлажненный. Май и июнь были засушливыми. ГТК равнялись соответственно 0,18 и 0,46. В июле влагообеспеченность оценивается как недостаточная (ГТК = 0,93). В августе отмечены обильные осадки и повышенная температура воздуха (ГТК = 2,04). В целом первые два месяца лета 2023 г. характеризовались дефицитом осадков, что привело к укорочению фаз развития растений и уменьшению их зерновой продуктивности.

Анализировали такие признаки растений, как продолжительность межфазного периода «всходы–колошение», длина соломины, размер самой длинной ости колоса, длина колоса, число колосков колоса, число зерен колоса, вес зерен с колоса, масса 1000 зерен, продуктивность зерна с делянки в пересчете на 1 м^2, натура зерна. Так как в полевых условиях 2021 и 2023 гг. болезни не проявились и полегания растений не наблюдали, то показатели устойчивости к этим факторам внешней среды у всех изучаемых форм были одинаково высокими, благодаря чему разницы между образцами не было.

Обмолот колосьев проводили колосковой молотилкой МК1. Статистическую обработку результатов проводили с помощью компьютерной программы, встроенной в электронной таблице Excel.

Селекционная ценность зернового растения во многих случаях прямолинейно возрастает с увеличением значения того или иного признака (продуктивность зерна растения, натура зерна, число продуктивных стеблей). Но такое бывает не всегда. В некоторых случаях ценность растения меняется с увеличением значения признака (длительность вегетационного периода, высота растения).

При вычислении статистической оценки исследуемого образца первичные данные каждого количественного признака перево-

дятся из метрического выражения в скалярное с умножением на коэффициент значимости признака, алгоритм расчета которого основан на долевом выражении от 0 до 1 с учетом коэффициентов корреляций данного признака с натурой зерна и с весом зерна с колоса. Алгоритм расчета статистической оценки по признаку, имеющему прямолинейную зависимость, представлен формулой

$$C_n = k_n(M_n - M_{\min})/(M_{\max} - M_{\min}) \quad (1)$$

где n – число изучаемых признаков; M_n – метрическое значение признака растений; $M_{\max}$ – максимальное метрическое выражение признака в наборе (n) изучаемых образцов тритикале; $M_{\min}$ – минимальное метрическое значение признака в изучаемой выборке; k_n – коэффициент значимости признака, алгоритм расчета которого основан на долевом выражении от 0 до 1 с учетом коэффициентов корреляций данного признака с натурой зерна и с весом зерна с колоса.

Диапазон возможных значений C_n от 0 до 1.

Общая оценка образца вычисляется по формуле: $C = \sum_{n=1}^{N} C_n$,

В случае, когда корреляция отрицательная, формула алгоритма расчета статистической оценки образца по признаку другая:

$$C_n = k_n(M_{\max} - M_n)/(M_{\max} - M_{\min}). \quad (2)$$

Диапазон возможных значений C_n от 0 до 1.

Однако эти две формулы не могут быть применены для оценки высоты растения и других признаков, ценность которых определяется не по максимальному или минимальному значению признака, а по оптимальному. Слишком короткие растения являются низкопродуктивными, а слишком длинные растения в большинстве случаев полегают. Для данного варианта разработан следующий алгоритм расчета статистической оценки образца по признаку:

$$C_n = k_n(1 - ((M_n - M_{opt})^2)^{0,5}/(M_n + M_{opt})), \quad (3),$$

где M_{opt} – оптимальное метрическое выражение признака, за которое можно взять значение признака модельного образца, сорта-стандарта или среднее значение признака выборки. Диапазон возможных значений C_n от 0 до 1.

Алгоритмы расчетов основываются на компьютерной программе Excel.

Результаты и их обсуждение. Корреляции по силе выше средней отмечены у обеих групп изучаемого материала тритикале между числом зерен и весом зерен с растения, что также отмечают некоторые исследователи (Laouar and Hafsi, 2023). Нами высокие коэффициенты корреляции в 2021 и 2023 гг. выявлены между числом зерен с колоса и весом зерен (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции 8 пар признаков трех групп яровых тритикале (2021 и 2023 гг.)
Table 1. Correlation coefficients of 8 pairs of traits of three spring triticale groups (2021 and 2023)

Коррелирующие признаки	Годы	Коллекция	ДТ
Число зерен колоса – Вес зерен	2021	0,75±0,25	0,85±0,20
	2023	0,73±0,26	0,82±0,22
Число зерен колоса – Вес зерен	2021	0,60 ±0,31	0,78±0,24
	2023	0,46±0,34	0,80±0,23
Период «всходы–колошение» – Натура	2021	-0,68±0,29	-0,48±0,33
	2023	-0,71±0,27	-0,45±0,34
Длина соломины – Вес зерен	2021	0,51±0,33	0,47±0,34
	2023	0,47±0,30	0,30±0,36
Длина колоса – Вес зерен	2021	0,37±0,35	0,61±0,30
	2023	0,30±0,36	0,51±0,33
Длина колоса – Число зерен с колоса	2021	0,38±0,35	0,52±0,33
	2023	0,36±0,36	0,42±0,35
Длина ости – Масса 1000 зерен	2021	0,58±0,31	0,43±0,34
	2023	0,56±0,32	0,45±0,33
Вес зерен – Масса 1000 зерен	2021	0,68±0,29	0,49±0,33
	2023	0,66±0,29	0,37±0,35

Средние по силе корреляции выявлены между длиной соломины и весом зерен. По литературным данным, у межсортовых гибридов тритикале отмечены невысокие корреляции между этими признаками (Goryanina, 2019). В обеих группах растений тритикале корреляции также средние между длиной колоса и весом зерен, длиной колоса и числом зерен, весом зерен с колоса и массой 1000 зерен, между признаками «длина ости» и «масса 1000 зерен». Признак «длина ости», на наш взгляд, более информативен, чем «длина ости над кончиком колоса», как это было принято в работе болгарских исследователей (Daskalova et al., 2021), так как позволяет учитывать изогнутые в бок ости. Отрицательная средняя по силе корреляция

имелась между натурой зерна и межфазным периодом «всходы – колошение». Значение этого показателя у коллекционных образцов в 2023 г. достигало (-0,71±0,27). Признак межфазный период «всходы – колошение» больше не имел достоверной корреляции ни с каким-либо другим признаком в отличие от сообщений других авторов (Alam et al., 2023). По остальным парам признаков, в том числе между весом зерен с растения и натурой зерна, корреляции тоже не было или была очень слабой у всех групп тритикале.

Приоритетность признака в общей оценке образца определяется коэффициентом значимости согласно вычисленным коэффициентам корреляции. Каждому изучаемому признаку придается коэффициент значимости соответственно его долевому вкладу в статистическую оценку образца. Основное внимание было уделено признакам, взаимодействующим с натурой зерна и весом зерен с растения. Коэффициент значимости рассчитывается согласно сумме существенных коэффициентов корреляции.

Рассчитанные по формулам 1–3 с учетом значения признаков и коэффициентов значимости общие оценки образцов позволяют по совокупности признаков выбрать лучшие из них для дальнейшего изучения и использования в селекционных программах. В группе коллекционных образцов тритикале выбрано 9 лучших согласно рассчитанной общей оценке выше 0,600. Отобрали 10 лучших селекционных форм, у которых общая оценка превышала 0,550. Стандартом в обеих группах служил сорт Тимур, районированный в Новосибирской области. Наряду со значениями общей оценки, учитывали показатели семи признаков с наибольшими коэффициентами значимости.

Двухфакторный дисперсионный анализ результата опыта с гибридными формами (фактор годы $F_{0,05}$ = 3,94, фактор сорт $F_{0,05}$ = 1,97) показал, что по длине стебля растений оба фактора существенны ($F_{годы}$ = 27,08 и $F_{сорт}$ = 7,69). По остальным признакам превышение табличных значений ($F_{0,05}$) фактическим не было.

У коллекционных форм оба фактора существенны по признаку «длина стебля» ($F_{годы}$ = 8,67 и $F_{сорт}$ = 22,2), по признаку «число зерен» ($F_{годы}$ = 3,99 и $F_{сорт}$ = 3,37), по признаку «вес зерен» ($F_{годы}$ = 4,63 и $F_{сорт}$ = 7,62).

У выделившихся коллекционных образцов на общую оценку в основном повлияли более короткий, чем у селекционных форм, межфазный период «всходы–колошение» (42–48 сут. в 2021 г., 33–38 сут. в 2023 г.), масса 1000 зерен (39,7–50,0 г в 2021 г., 39,4–48,2 г в 2023 г.,), вес зерна с колоса (2,56–3,47 г в 2021 г., 2,42–3,33 г, в 2023 г.) (табл. 2).

Таблица 2. Показатели семи признаков и оценка 9 лучших коллекционных форм тритикале (2021 и 2023 гг.)
Table 2. Indicators of seven traits and estimation of 9 best collection forms of triticale (2021 and 2023)

Название тритикале	Год изучения	Период «всходы – колошение», сут.	Длина соломины, см	Длина колоса, см	Число зерен, шт.	Вес зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Общая оценка образца (0–1)
Тимур (st), к-4252	2021	45	89,9±4,7	11,6±0,3	64,2±2,4	3,07±0,14	48,0±3,1	686	0,688
	2023	38	85,0±3,8	10,0±0,5	61,3±3,3	2,81±0,26	46,1±4,4	687	0,664
Susi, к-3535	2021	44	89,9±3,3	9,2±0,4	70,6±7,1	3,47±0,33*	46,9±3,2	667	0,798
	2023	33	88,3±2,6	8,9±0,5	68,6±6,5	3,33±0,43	48,2±3,1	687	0,817
Кармен, к-3933	2021	48	104±3,8*	11,7±0,5	68,2±6,7	3,37±0,34	50,0±6,4	665	0,730
	2023	38	102±4,0*	11,5±0,5*	67,7±4,8	3,27±0,27	48,2±1,8	676	0,751
Арсенал, к-3874	2021	44	100±2,5	9,8±0,3	63,2±5,8	3,00±0,34	49,0±5,3	705	0,723
	2023	35	98,8±3,1	9,6±0,4	62,1±5,3	2,89±0,31	46,5±2,3	732	0,746
Мыкола, к-3890	2021	44	96,8±3,2	10,8±0,6	64,0±5,5	2,80±0,30	44,4±4,9	700	0,694
	2023	35	92,3±5,5	10,5±0,4	62,9±5,9	2,66±0,29	44,1±1,7	711	0,707
Савва, к-4211	2021	44	88,6±2,5	9,9±0,7	59,5±4,6	2,75±0,31	45,9±3,4	703	0,688
	2023	34	87,8±3,6	9,6±0,5	56,7±5,7	2,69±0,39	47,1±2,9	709	0,677
Amigo, к-3913	2021	44	91,8±4,4	11,5±0,6	66,2±4,6	2,68±0,48	40,5±6,7	698	0,669
	2023	34	90,3±5,0	11,1±0,7	65,2±8,5	2,56±0,33	39,4±3,7	714	0,676
Лотас, к-3889	2021	48	91,6±4,2	11,8±0,7	62,9±4,2	3,06±0,41	48,5±5,1	658	0,665
	2023	39	89,8±5,6	11,7±1,0	61,6±5,6	2,90±0,23	47,4±2,9	673	0,669
Wonad, к-3723	2021	45	98,9±5,5	10,1±0,4	68,6±3,4	2,92±0,16	42,9±3,5	657	0,640
	2023	37	92,4±4,8	9,6±0,2	61,0±4,3	2,65±0,24	43,4±2,2	695	0,644
Ровня, к-3935	2021	43	79,8±3,2	10,5±0,3	65,5±2,9	2,56±0,14*	39,7±2,8	702	0,619
	2023	37	77,8±3,0	10,0±0,4	60,2±3,6	2,42±0,17	40,5±3,4	727	0,629
Квадро, к-4073	2021	48	88,9±3,8	11,6±0,4	61,5±5,1	2,69±0,25	44,2±4,5	653	0,603
	2023	41	91,9±4,5	11,8±0,3	65,8±6,3	2,83±0,21	43,6±3,5	660	0,632

*Примечание. Достоверные отличия от стандарта: *p < 0,05.*

Самый лучший, по общей оценке (798 в 2021 г. и 0,817 в 2023 г.) коллекционный образец Susi (к-3535) имеет короткий межфазный период «всходы – колошение» (44 суток

в 2021 году и 33 – в 2023 г.). У него, а также у сорта Кармен (к-3933) показатели веса зерна с колоса превышают 3 г, количество зерен с колоса достигает 70 г, масса 1000 зерен – около 50 г. Данные образцы можно считать источниками хорошей продуктивности зерна с колоса, скороспелости и массы 1000 зерен. В группе коллекционных форм высокую для тритикале натуру зерна (705 г/л в 2021-м, 732 г/л в 2023 г.) показал сорт Арсенал (к-3873). Эти выделившиеся по высокой общей оценке образцы выбраны для гибридизации в качестве родительских форм в селекционных программах по яровой тритикале.

В группе селекционных форм тритикале с цитоплазмой полбы нет скороспелых образцов (табл. 3). Имеются позднеспелые образцы с длительным межфазным периодом «всходы – колошение» – до 51 суток в 2021 г. и до 46 суток в 2023 году. Достоверных различий по изученным количественным признакам между лучшими по общей оценке форм нет. От сорта-стандарта Тимур достоверно отличился по длине стебля (свыше 100 см) селекционный образец ДТ 15/446 в оба года изучения и по числу зерен с колоса (54,6±2,5 шт.) – ДТ 15/452 в 2021 году. У всех этих селекционных образцов натура зерна выше 700 мл/г, что является хорошим показателем для культуры тритикале. Зерно менее морщинистое, чем у большинства других изученных тритикале. Возможно, в данный признак сделала вклад материнская форма – полба. У двух селекционных форм (ДТ 13/441 и ДТ Ф11) масса 1000 зерен превышает 50 г., что с высокой натурой зерна делает их привлекательными для дальнейшего селекционного использования.

Таблица 3. Показатели семи признаков и оценка 10 лучших селекционных форм тритикале с цитоплазмой полбы (2021 и 2023 гг.)
Table 3. Indicators of seven traits and estimation of 10 best selection forms of triticale with emmer cytoplasm (2021 and 2023)

Название тритикале	Год изучения	Период «всходы – колошение», сут.	Длина соломины, см	Длина колоса, см	Число зерен, шт.	Вес зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Общая оценка образца (0–1)
Тимур (st), к-4252	2021	45	89,9±4,7	11,6±0,3	64,2±2,4	3,07±0,14	48,0±3,1	686	0,688
	2023	38	85,0±3,8	10,0±0,5	61,3±3,3	2,81±0,26	46,1±4,4	687	0,664
ДТ 15/447	2021	44	100,2±4,1	11,8±0,3	64,1±3,8	2,95±0,25	46,6±5,8	730	0,795
	2023	37	93,2±8,0	11,3±0,5	61,0±5,2	2,50±0,27	41,2±4,0	735	0,721
ДТ 13/441	2021	45	98,1±4,2	11,3±0,4	58,3±4,1	3,01±0,40	51,6±6,0	730	0,728
	2023	38	93,1±3,1	11,0±0,7	57,6±6,1	2,91±0,35	50,4±1,9	740	0,749
ДТ 15/446	2021	46	107,3±4,6*	10,9±0,6	59,9±4,2	2,53±0,17	42,3±2,3	722	0,692
	2023	37	104,0±3,7*	10,7±0,4	57,7±3,7	2,49±0,20	43,1±1,8	745	0,730
ДТ Ф11	2021	51	105,8±5,7	11,6±0,8	62,2±3,3	3,20±0,19	51,6±3,5	716	0,686
	2023	45	97,2±5,2	11,2±0,6	59,5±3,6	3,07±0,28	51,4±2,0	730	0,720
ДТ 13/437	2021	46	98,4±2,3	10,1±0,3	54,8±3,6	2,85±0,32	52,2±5,4	731	0,728
	2023	39	89,1±8,3	9,9±0,3	52,1±6,3	2,50±0,40	47,7±2,6	738	0,598
ДТ Ф4/466	2021	46	94,7±3,9	11,4±0,4	61,9±3,8	3,06±0,22	49,6±3,5	700	0,667
	2023	41	90,9±3,0	11,0±0,7	59,5±5,6	2,96±0,29	49,9±3,5	708	0,689
ДТ 125	2021	47	91,1±5,8	11,2±0,7	59,6±4,9	2,82±0,35	47,3±4,1	715	0,662
	2023	41	87,9±4,6	10,9±0,4	55,5±6,1	2,61±0,42	47,0±4,2	722	0,644
ДТ 15/452	2021	45	103,1±3,6	11,1±0,3	54,6±2,5*	2,51±0,16	46,1±3,5	729	0,638
	2023	39	96,5±7,1	10,6±0,6	50,2±4,7	2,25±0,24	44,7±1,7	745	0,613
ДТ 168/36	2021	45	98,7±3,9	11,1±0,5	55,1±3,8	2,44±0,33	44,4±5,2	717	0,618
	2023	37	92,7±5,1	10,8±0,5	53,2±7,6	2,36±0,29	44,9±3,2	727	0,624
ДТ 134	2021	51	94,7±4,6	11,3±0,4	55,6±5,9	2,68±0,15	48,8±3,0	716	0,570
	2023	46	88,2±3,2	11,1±0,3	54,6±4,1	2,55±0,24	46,8±3,5	729	0,594

*Примечание. Достоверные отличия от стандарта: *p < 0,05.*

Селекционные формы с цитоплазмой полбы получены в результате отдаленного скрещивания разноплоидных видов злаков – полбы с геномной формулой AABB (28 хромосом) и факультативной гексаплоидной формой тритикале с геномной формулой AABBRR (42 хромосомы). В ранних поколениях проходила, с одной стороны, элиминация 14 хромосом, в основном ржи, и стабилизация гибридов на тетраплоидном уровне растений, преимущественно полбы, с другой – без элиминации хромосом проходила стабилизация гибридов на гексаплоидном уровне с возникновением тритикале с цитоплазмой полбы, так как она была материнской формой в гибридизации с тритикале. Отцовской формой был позднеспелый факультативный пшенично-ржаной амфиплоид, полученный из популяции озимой линии тритикале, способный переходить к генеративному развитию при весеннем севе (Степочкин и Ермошкина, 2023). У гибридов тритикале, полученных в межвидовых скрещиваниях, происходит на протяжении нескольких поколений (в нашем случае в F_2–F_6) «притирка» геномов

разных видов с возникновением в последующих поколениях новых генотипов на стабильном уровне плоидности (Kalinka and Achrem, 2018). Селекционные формы в наших исследованиях были стабильными начиная с F_7. Более продолжительный межфазный период «всходы – колошение» у них по сравнению с большинством коллекционных образцов, вероятно, унаследован от отцовской формы тритикале.

Выводы. По рассчитанной высокой селекционной ценности на основе комплекса наиболее важных признаков яровых тритикале выбраны 10 коллекционных образцов тритикале и 10 селекционных форм пшенично-ржаных амфиплоидов с цитоплазмой полбы. Три лучших коллекционных пшенично-ржаных амфиплоида Susi (к-3535), Кармен (к-3933) и Арсенал (к-3874) отличились коротким межфазным периодом «всходы – колошение» (44–48 суток в 2021 г., 33–38 суток в 2023 г.), массой 1000 зерен – свыше 46 г и озерненностью колоса – свыше 3 г и взяты в качестве родительских форм для внутривидовой гибридизации и использования в дальнейшем селекционном процессе. Десять выделенных по рассчитанной высокой селекционной ценности форм пшенично-ржаных амфиплоидов, полученных в результате гибридизации полбы с тритикале, характеризуются более длительным, чем коллекционные образцы, межфазным периодом «всходы – колошение» (до 51 суток в 2021 г. и до 46 суток в 2023 г.), лучшей натурой зерна, превышающей 700 мл/г. Они будут использоваться в дальнейшей проработке в селекционных питомниках.

Финансирование. Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Библиографический список

1. Степочкин П. И., Ермошкина Н. Н. Изучение факультативных форм тритикале после осеннего и весеннего сева // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 9, № 2. С. 21–25. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-10
2. Потапова Г. Н., Зобнина Н. Л., Безгодов А. В., Иванова М. С. Перспективный исходный материал для селекции озимой тритикале в условиях Среднего Урала // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 4. С. 88–96. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96.
3. Janczak-Pieniazek M., Horvat, D., Vuletic M. V., Babic M. K., Buczek J., Szpunar-Krok E. Antioxidant Potential and Phenolic Acid Profiles in Triticale Grain under Integrated and Conventional Cropping Systems // Agriculture. 2023. Vol. 13(5), P. 1–7. Article number: 1078. DOI: 10.3390/agriculture13051078
4. Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A., Naraghi S. M., Pirseyedi S., Alamri M. S., AbuHammad W. Triticale (× Triticosecale Wittmack) Breeding. Advances in Plant Breeding Strategies // Cereals. Publisher: Springer Nature Switzerland. 2019. Vol. 5, P. 405–451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11
5. Miedaner T., Flath K., Starck N., Weibmann S. Quantitative-genetic evaluation of resistances to five fungal. diseases in a large triticale diversity panel (×Triticosecale) // Crops. 2022. Vol. 2(3), P. 218–32. DOI: 10.3390/crops2030016
6. Kalinka A., Achrem M. Reorganization of Wheat and Rye Genomes in Octoploid Triticale (× Triticosecale) // Planta. 2018. Vol. 247(4), P. 807–29. DOI: 10.1007/s00425-017-2827-0
7. Laouar A., Hafsi M. Behavior assessment of some Triticale (Triticosecale Wittmack) Genotypes under Mediterranean Semi-arid Conditions // Agricultural Science Digest. 2023. Vol. 44(4), DOI: 10 18805/agDF-523.arccjournals.com
8. Goryanina, T. Statistical correlations in winter triticale hybrids // Acta Agrobotanica. 2019. Vol. 72(4), P. 1–12. DOI: 10.5586/aa.1778
9. Daskalova N., Doneva S., Spetsov P. Characterization of Triticale (× Triticosecale Wittmack) Accessions and Reciprocal Hybrids Possessing Wheat 1D Chromosome A // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2021. Vol. 86(2), P. 107–115
10. Alam M. N., Hakim A., Islam Z., Al Mamun A., Mandal S. N., Hossain M., Amin F., Islam R., Hossain I., Ekram S. B., Sharmin S., Hossain Z., Akter S., Abedin T., Yeasmin N., Sohel M. K. Physiological and yield contributing characters depicting a high yield potential triticale line (x Triticosecale Wittm.) // International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR). 2023. Vol. 9(10), P. 1–11.

References

1. Stepochkin P. I., Ermoshkina N. N. Izuchenie fakul'tativnykh form tritikale posle osennego i vesennego seva [Study of facultative forms of triticale after autumn and spring sowing] // Pis'ma v Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2023. T. 9, № 2. S. 21–25. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-10
2. Potapova G. N., Zobnina N. L., Bezgodov A. V., Ivanova M. S. Perspektivnyi iskhodnyi material dlya selektsii ozimoi tritikale v usloviyakh Srednego Urala [Promising initial material for breeding winter triticale in the conditions of the Middle Urals] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. T. 183, № 4. S. 88–96. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96
3. Janczak-Pieniazek M., Horvat, D., Vuletic M. V., Babic M. K., Buczek J., Szpunar-Krok E. Antioxidant Potential and Phenolic Acid Profiles in Triticale Grain under Integrated and Conventional Cropping Systems // Agriculture. 2023. Vol. 13(5), P. 1–7. Article number: 1078. DOI: 10.3390/agriculture13051078
4. Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A., Naraghi S. M., Pirseyedi S., Alamri M. S., AbuHammad W. Triticale (× Triticosecale Wittmack) Breeding. Advances in Plant Breeding Strategies // Cereals. Publisher: Springer Nature Switzerland. 2019. Vol. 5, P. 405–451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11
5. Miedaner T., Flath K., Starck N., Weibmann S. Quantitative-genetic evaluation of resistances to five fungal. diseases in a large triticale diversity panel (×Triticosecale) // Crops. 2022. Vol. 2(3), P. 218–32. DOI: 10.3390/crops2030016
6. Kalinka A., Achrem M. Reorganization of Wheat and Rye Genomes in Octoploid Triticale (× Triticosecale) // Planta. 2018. Vol. 247(4), P. 807–29. DOI: 10.1007/s00425-017-2827-0

7. Laouar A., Hafsi M. Behavior assessment of some Triticale (Triticosecale Wittmack) Genotypes under Mediterranean Semi-arid Conditions // Agricultural Science Digest. 2023. Vol. 44(4), DOI: 10 18805/agDF-523.arccjournals.com

8. Goryanina, T. Statistical correlations in winter triticale hybrids // Acta Agrobotanica. 2019. Vol. 72(4), P. 1–12. DOI: 10.5586/aa.1778

9. Daskalova N., Doneva S., Spetsov P. Characterization of Triticale (× Triticosecale Wittmack) Accessions and Reciprocal Hybrids Possessing Wheat 1D Chromosome A // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2021. Vol. 86(2), P. 107–115

10. Alam M. N., Hakim A., Islam Z., Al Mamun A., Mandal S. N., Hossain M., Amin F., Islam R., Hossain I., Ekram S. B., Sharmin S., Hossain Z., Akter S., Abedin T., Yeasmin N., Sohel M. K. Physiological and yield contributing characters depicting a high yield potential triticale line (x Triticosecale Wittm.) // International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR). 2023. Vol. 9(10), P. 1–11.

Поступила: 03.09.24; доработана после рецензирования: 08.11.24; принята к публикации: 11.11.24.

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. Степочкин П. И. – концептуализация и проектирование исследования, выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Брауэр Т. С. – выполнение полевых опытов, сбор и обработка данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.361:631.52:631.559 DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-56-60

ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОДУКТИВНОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЭСПАРЦЕТА

А. А. Регидин, научный сотрудник лаборатории многолетних трав mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;
С. А. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории многолетних трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;
К. Н. Горюнов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории многолетних трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5685-6508;
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 образцов эспарцета селекции «АНЦ «Донской» в коллекционном питомнике. Цель исследований – оценка основных хозяйственно-биологических свойств, кормовой и семенной продуктивности коллекционных образцов эспарцета. Объекты изучения – 25 образцов эспарцета гибридного происхождения местной селекции. Исследования проводили в 2019–2021 годах. Уходные мероприятия и уборку выполняли согласно технологиям возделывания, рекомендованным для зоны выращивания. Результаты изучения созданных за ряд лет новых образцов эспарцета показывают некоторые закономерности прохождения ими фенологических фаз. В изученном материале имеются образцы, которые в среднем за 3 года по времени весеннего отрастания, начала цветения и созревания семян находились на уровне стандарта, у части образцов эти фазы были более продолжительные. Продолжительность важных в хозяйственном отношении периодов – от весеннего отрастания до начала цветения и полной спелости образцов эспарцета составляла соответственно 48–53 дня и 91–93 дня. Высота растений в фазу начала цветения, оказывающая большое влияние на продуктивность кормовой массы эспарцета, варьировала от 112 до 123 см. В среднем за 3 года изучаемые образцы выделялись достаточно высоким содержанием сырого протеина в растительной массе с варьированием от 18,12 до 19,71 %. Более высокой и достоверно превышающей стандарт (3,5 кг/м^2) урожайностью зеленой массы выделялись образцы с показателями 4,4–4,8 кг/м^2. Наибольшие показатели были отмечены у образцов Син 127 (186 г/м^2), Син 131 (170 г/м^2), Син 142 (184 г/м^2), Син 1.15 (172 г/м^2).

Ключевые слова: *эспарцет, образец, продуктивность, зеленая масса, семена, сырой протеин.*

Для цитирования*: Регидин А. А., Игнатьев С. А., Горюнов К. Н. Оценка хозяйственно-биологических свойств и продуктивности коллекционных образцов эспарцета // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 56–60. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-56-60.*

(cc) BY

ESTIMATION OF ECONOMIC AND BIOLOGICAL PROPERTIES AND PRODUCTIVITY OF SAINFOIN COLLECTION SAMPLES

A. A. Regidin, researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;
S. A. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;
K. N. Goryunov, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5685-6508
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 sainfoin samples developed in the collection nursery of the "ARC "Donskoy". The purpose of the study was to estimate the main economic and biological properties, feed, and seed productivity of sainfoin collection samples. The objects of study were 25 sainfoin samples of local hybridization. The study was conducted in 2019–2021. Growing and harvesting activities were carried out according to the cultivation technologies recommended for the area of cultivation. The study results of new sainfoin samples developed over several years have shown some patterns in their phenological phases. The studied material includes samples whose time of spring regrowth, beginning of flowering and seed ripening were at the standard level on average over 3 years; these phases of some other samples were longer. The length of economically important periods, from spring regrowth to beginning of flowering and full ripening of sainfoin samples was, respectively, 48–53 days and 91–93 days. The plant height at the beginning of flowering, which has a great influence on sainfoin feed mass productivity, varied from 112 cm to 123 cm. On average, over 3 years, the studied samples were identified by high crude protein percentage in plant mass, varying from 18.12 % to 19.71 %. Samples with 4.4–4.8 kg/m^2 had a larger and significantly larger green mass productivity than the standard (3.5 kg/m^2). The highest indicators were identified in samples 'Sin 127' (186 g/m^2), 'Sin 131' (170 g/m^2), 'Sin 142' (184 g/m^2), 'Sin 1.15' (172 g/m^2).

Keywords: *sainfoin, sample, productivity, green mass, seeds, crude protein.*

Введение. Развитие отечественного кормопроизводства является важным направлением для реализации импортозамещения. Создавать прочную кормовую базу в нашей стране в первую очередь помогает возделывание многолетних трав (Косолапов и др., 2021). Эспарцет – многолетняя бобовая культура, не уступающая по хозяйственной ценности основной кормо-

вой культуре страны – люцерне (Vasileva et al., 2019). Возделывать эспарцет без снижения урожайности можно на малоплодородных почвах, к которым относятся песчаные, щебнистые, эродированные (Grosse Brinkhaus et al., 2016). Благодаря стержневой корневой системе с наличием азотфиксирующих бактерий эспарцет является отличным предшественником для озимых культур, особенно для возделывания в засушливых условиях (Галиченко, 2015, Mora-Ortiz et al., 2016).

Селекция эспарцета преимущественно направлена на создание новых сортов, способных не только обеспечивать сельхозтоваропроизводителей качественной продукцией кормопроизводства и семеноводства в ранние сроки, но и адаптированных к неустойчивым и постоянно изменяющимся погодно-климатическим условиям. А для достижения этих целей необходимо разностороннее изучение исходного материала.

Цель исследований – оценка основных хозяйственно-биологических свойств, кормовой и семенной продуктивности коллекционных образцов эспарцета.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2019–2021 гг. на опытных полях лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав «АНЦ «Донской». Опыт закладывали согласно «Методическим указаниям по селекции многолетних трав» (М., 1985), обработку результатов проводили по «Методике полевого опыта» Б. А. Доспехова (2014). Объекты изучения – 25 образцов эспарцета гибридного происхождения местной селекции. За стандарт был принят сорт эспарцета Велес. Посев проводили вручную в весеннее время. Учетная площадь делянки 1 м^2, ширина междурядий 20 см, повторность двукратная (первая повторность – учет зеленой массы, вторая – учет семенной продуктивности). Уходные мероприятия и уборку выполняли согласно технологиям возделывания, рекомендованным для зоны выращивания.

Почвенный покров участка – чернозем обыкновенный мощный карбонатный. Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см – 3,4 %, подвижного фосфора – 18 мг/кг, обменного калия – 320 мг/кг почвы.

За период изучения погодные условия для возделывания эспарцета складывались удовлетворительно. В условиях 2019 г. количество осадков в весеннее время было немногим выше (на 8,8 %) среднемноголетних показателей при благоприятных среднемесячных температурах, однако в летний период количество осадков составило лишь 55 % от среднемноголетних норм на фоне резкого повышения температур воздуха. В весенний период 2020 г. остро ощущался недостаток влаги. Потребность эспарцета в ней немного снизили выпавшие в мае осадки (79,9 мм), но в дальнейшем снова количество осадков составило 83 % от среднемноголетних за оставшийся период вегетации. При этом среднесуточные температуры за весь период вегетации были выше среднемноголетних на 0,5–2,4 °С. Для осени и начала зимы также был характерен недостаток влаги. Но за весенние месяцы 2021 г. превышение по количеству осадков составило 60 % над среднемноголетними нормами, это способствовало дальнейшему развитию эспарцета, однако затрудняло проведение уходных мероприятий.

Результаты и их обсуждение. Каждый вид растений характеризуется определенной потребностью в тепле, влаге, свете, питательных веществах. Поступление этих факторов сказывается на прохождении фенологических фаз развития растений, а от последних зависит проявление хозяйственно-биологических свойств и продуктивность растений. Выявление этих свойств важно при изучении нового коллекционного (исходного) материала гибридного происхождения.

Результаты изучения основных хозяйственно-биологических свойств созданных за ряд лет новых образцов эспарцета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные хозяйственно-биологические свойства коллекционных образцов эспарцета (среднее за 2019–2021 гг.)
Table 1. Main economic and biological properties of sainfoin collection samples (mean in 2019–2021)

Сорт/ образец	Дата			Продолжительность периода от отрастания, дней		Высота растений, см	Облиственность, %	Выход сена, %	Содержание сырого протеина, %
	Весеннее отрастание	Начало цветения	Полная спелость	до цветения	до полной спелости				
Велес, st	30.03	17.05	29.06	48	91	115	43	27	18,51
Син 26	2.04	18.05	29.06	49	91	118	42	27	18,36
Син 28	4.04	20.05	29.06	51	91	116	42	26	19,12
Син 31	6.04	22.05	29.06	53	91	115	43	26	19,01
Син 38	2.04	18.05	29.06	49	91	112	43	27	18,21
Син 40	6.04	21.05	30.06	52	92	114	42	27	18,41
Син 125	4.04	17.05	29.06	48	91	117	43	29	18,03
Син 124	1.04	17.05	29.06	48	91	118	43	28	18,14
Син 126	2.04	17.05	30.06	48	92	120	41	28	18,16
Син 127	6.04	20.05	1.07	51	93	122	41	26	19,31

Продолжение табл. 1

Сорт/ образец	Дата			Продолжительность периода от отрастания, дней		Высота растений, см	Облиственность, %	Выход сена, %	Содержание сырого протеина, %
	Весеннее отрастание	Начало цветения	Полная спелость	до цветения	до полной спелости				
Син 131	4.04	18.05	29.06	49	91	117	43	27	18,62
Син 132	3.04	17.05	29.06	48	91	117	43	28	17,56
Син 135	2.04	17.05	29.06	48	91	116	43	29	18,13
Син 141	2.04	17.05	29.06	48	91	115	43	29	18,19
Син 142	1.04	17.05	1.07	48	91	119	42	28	19,37
Син 149	1.04	17.05	29.06	48	91	119	40	27	19,48
Син 146	4.04	17.05	29.06	48	92	117	42	27	18,67
Син 147	6.04	21.05	1.07	52	93	120	40	26	18,49
Син 102.15	6.04	20.05	1.07	51	93	121	41	29	18,12
Син 103.15	2.04	18.05	29.06	49	91	122	40	27	18,16
Син 111.15	4.04	20.05	1.07	51	93	119	42	26	19,71
Син 1.15	4.04	18.05	28.06	49	90	115	43	28	18,79
Син 2.15	2.04	18.05	29.06	49	91	117	43	29	19,56
Син 9.15	6.04	22.05	1.07	53	93	121	42	28	19,66
Син 200.15	6.04	18.05	1.07	49	93	123	42	28	19,34
Син 203.15	6.04	22.05	1.07	53	93	123	41	27	19,26
$НСР_{05}$	–	–	–	–	–	6,3	2,4	2,1	0,48

В изученном материале имеются образцы, которые в среднем за 3 года по времени весеннего отрастания, начала цветения и созревания семян находились на уровне стандарта Велес (Син 124, Син 142, Син 149, Син 26, Син 126, Син 135, Син 141, Син 103.15, Син 2.15), но и значительное их число имело более продолжительные эти фазы (Син 31, Син 40, Син 127, Син 131, Син 147, Син 102.15, Син 111.15, Син 9.15, Син 200.15, Син 203.15). К фазе созревания семян различие в длительности фаз со стандартом части образцов эспарцета составляет только 1–2 дня (Син 40, Син 126, Син 127, Син 142, Син 147, Син 102.15, Син 111.15, Син 9.15, Син 200.15, Син 203.15). У большей же части созревание наступало одновременно со стандартом (29.06).

Продолжительность важных в хозяйственном отношении периодов – от весеннего отрастания до начала цветения и полной спелости образцов эспарцета составляла соответственно 48–53 дня и 91–93 дня. Более продолжительным, чем у стандарта (48 дней), период от весеннего отрастания до начала цветения на 4–5 дней отмечался у Син 31, Син 40, Син 147, Син 9.15, Син 200.15, Син 203.15. Продолжительность периода от весеннего отрастания до полной спелости семян в среднем за эти годы у образцов Син 127, Син 147, Син 111.15, Син 9.15, Син 200.15, Син 203.15 составила 93 дня при его длительности у стандарта 91 день.

Высота растений в фазу начала цветения, оказывающая большое влияние на продуктивность кормовой массы эспарцета, варьировала от 112 до 123 см. У стандарта Велес она в среднем за 3 года составляла 115 см, а достоверно большей она была у образцов Син 127 и Син 103.15 – 122 см и у образцов Син 200.15 и Син 203.15 – 123 см.

Образцов эспарцета, по облиственности превышающих стандарт (43 %), в коллекции не оказалось. Имелось несколько образцов с облиственностью 40 и 41 %. По выходу сена коллекционные образцы также были близки к стандарту.

В среднем за 3 года изучаемые образцы выделялись достаточно высоким содержанием сырого протеина в растительной массе с варьированием от 18,12 % (Син 102.15) до 19,71 % (Син 111.15) при содержании у стандарта Велес 18,51 %. Более высоким его содержанием (19,01–19,71 %) отмечались образцы Син 28, Син 31, Син 142, Син 149, Син 111.15, Син 2.15, Син 9.15, Син 200.15, Син 203.15.

В результате сложившихся условий прохождения фенологических фаз изучаемые образцы эспарцета сформировали определенную урожайность зеленой массы и семян (табл. 2).

Таблица 2. Продуктивность образцов эспарцета в коллекционном питомнике (2019–2021 гг.)
Table 2. Productivity of sainfoin samples in the collection nursery (2019–2021)

Сорт/образец	Урожайность зеленой массы, кг/м²				Урожайность семян, г/м²			
	2019	2020	2021	среднее за 3 года	2019	2020	2021	среднее за 3 года
Велес, st	3,6	3,1	3,8	3,5	127	121	123	124
Син 26	5,3	3,5	2,9	3,9	195	136	129	153
Син 28	3,0	3,7	3,8	3,5	182	141	133	152
Син 31	3,7	3,5	4,4	3,9	193	129	109	144
Син 38	4,1	3,4	4,5	4,0	173	139	153	155

Продолжение табл. 2

Сорт/образец	Урожайность зеленой массы, кг/м²				Урожайность семян, г/м²			
	2019	2020	2021	среднее за 3 года	2019	2020	2021	среднее за 3 года
Син 40	4,4	3,8	5,2	4,5	199	137	141	159
Син 125	4,2	3,9	3,2	3,8	172	127	136	145
Син 124	3,7	3,6	3,5	3,6	192	152	145	163
Син 126	6,4	3,4	4,6	4,8	151	148	136	145
Син 127	4,1	3,8	4,8	4,2	198	176	184	186
Син 131	4,5	4,1	4,9	4,5	192	147	171	170
Син 132	6,9	4,5	3,0	4,8	193	143	141	159
Син 135	4,0	3,5	3,2	3,6	190	129	147	155
Син 141	5,6	3,4	4,1	4,4	181	128	142	150
Син 142	4,5	3,6	2,9	3,7	199	162	192	184
Син 149	4,1	4,0	3,2	3,8	161	159	181	167
Син 146	4,3	4,2	2,8	3,8	151	142	190	161
Син 147	4,2	3,6	2,9	3,6	196	138	153	162
Син 102.15	4,0	3,9	2,8	3,6	189	145	163	166
Син 103.15	4,5	3,2	2,6	3,4	169	156	156	160
Син 111.15	5,2	3,7	4,8	4,6	179	141	167	162
Син 1.15	5,2	4,2	4,9	4,8	194	149	173	172
Син 2.15	4,1	4,1	4,9	4,4	166	136	187	163
Син 9.15	4,8	3,6	3,5	4,0	157	145	185	162
Син 200.15	4,6	3,7	3,2	3,8	194	141	157	164
Син 203.15	4,0	3,2	3,3	3,5	183	152	151	162
Средняя по опыту	4,5	3,7	3,7	3,9	180	143	155	159
$НСР_{05}$	0,42	0,23	0,26	0,31	14,4	15,7	19,6	13,1

Анализ урожайности зеленой массы показывает, что более высокой она сформировалась в 2019 г., когда и средняя урожайность по опыту была более высокой – 4,5 кг/м². В этот год такие образцы, как Син 26, Син 126, Син 132, Син 141, Син 111.15 и Син 1.15, сформировали наивысшую урожайность зеленой массы – 5,3; 6,4; 6,9; 5,6 и 5,2 кг/м² сответственно при урожайности стандарта Велес 3,6 кг/м². За все 3 года достоверно большая, чем у стандарта, урожайность зеленой массы получена у образцов Син 38, Син 40, Син 126, Син 127, Син 131, Син 141 и Син 111.15. Некоторые образцы – Син 26, Син 142, Син 146, Син 147, Син 102.15, Син 103.15, Син 1.15 – превышали урожайность стандарта в 2019 и 2020 гг. и существенно уступали ему в 2021 г., но в среднем за 3 года их урожайность была на уровне стандарта. В среднем за 3 года более высокой и достоверно превышающей стандарт (3,5 кг/м²) урожайностью выделялись Син 40 (4,5 кг/м²), Син 126 (4,8 кг/м²), Син 131 (4,5 кг/м²), Син 132 (4,8 кг/м²), Син 141 (4,4 кг/м²), Син 111.15 (4,6 кг/м²), Син 2.15 (4,4 кг/м²).

В коллекционном питомнике эспарцета в 2019 г. получена наибольшая урожайность не только зеленой массы, но и семян. При урожайности семян у стандарта Велес 127 г/м у образцов она варьировала от 151 до 199 г/м². Все изучаемые образцы в этот год достоверно по урожайности семян превысили стандарт. Более высокой она была у Син 31 (193 г/м²), Син 40 (199 г/м²), Син 124 (192 г/м²), Син 127 (198 г/м²), Син 131 (192 г/м²), Син 132 (193 г/м²), Син 135 (190 г/м²), Син 142 (199 г/м²), Син 147 (196 г/м²), Син 1.15 (194 г/м²), Син 200.15 (194 г/м²), средняя урожайность по опыту при этом составляла 180 г/м². В последующие годы урожайность семян образцов эспарцета существенно снизилась.

В среднем за три года образцы Син 38, Син 40, Син 124, Син 126, Син 127, Син 131, Син 132, Син 135, Син 142, Син 149, Син 146, Син 147, Син 102.15, Син 103.15, Син 111.15, Син 1.15, Син 9.15, Син 200.15, Син 203.15 показали достоверно более высокую, чем стандартный сорт Велес (124 г/м²), урожайность семян. Наибольшие показатели были отмечены у образцов Син 127 (186 г/м²), Син 131 (170 г/м²), Син 142 (184 г/м²), Син 1.15 (172 г/м²).

Выводы. По результатам изучения сформированной коллекции эспарцета установлено, что в ней имеется значительное количество образцов, начинающих весеннюю вегетацию одновременно со стандартным сортом Велес (29.03), и образцы с более поздним (на 4–5 дней) началом весеннего отрастания. К фазе полной спелости семян различия в их прохождении между стандартом и этими образцами уменьшаются и могут составлять 1–2 дня.

В сформированной коллекции эспарцета выделялись образцы с потенциальной урожайностью семян около 2 т/га.

В коллекции имеются образцы с высоким (19,01–19,71 %) содержанием сырого протеина в кормовой массе, которые могут быть источником этого признака при скрещивании.

Выделены образцы Син 127, Син 111.15, Син 2.15 и Син 9.15 с урожайностью зеленой массы и семян, достоверно превышающей стандарт, и с содержанием сырого протеина 19,31–19,71 %. Выделившиеся образцы будут использованы как источники полезных признаков при создании новых сортов эспарцета.

Библиографический список

1. Галиченко И. И. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2(38). С. 3–5.
2. 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
3. Grosse Brinkhaus A., Bee G., Silacci P., Kreuzer M., Dohme-Meier F. Effect of exchanging Onobrychis viciifolia and Lotus corniculatus for Medicago sativa on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99, Iss. 6. P. 4384–4397. DOI: 10.3168/jds.2015-991
4. Mora-Ortiz M., Swain M. T., Vickers M. J., Hegarty M. J., Kelly R., Smith L. M. J., Skøt L. De-novo transcriptome assembly for gene identification, analysis, annotation, and molecular marker discovery in Onobrychis viciifolia // BMC Genomics. 2016. Vol. 17(1), Article number: 756. DOI: 10/1186/s12864-016-3083-6
5. Vasileva V., Naydenova Y., Stoycheva I. Nutritive value of forage biomass from sainfoin mixtures // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26(5), P. 942–949. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.03.012

References

1. Galichenko I. I. Urozhainost' ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov [Winter wheat productivity in dependence on forecrops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 2(38). S. 3–5.
2. 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 feed crops in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 4. S. 401–407. DOI: 10.18699/vj21.044
3. Grosse Brinkhaus A., Bee G., Silacci P., Kreuzer M., Dohme-Meier F. Effect of exchanging Onobrychis viciifolia and Lotus corniculatus for Medicago sativa on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99, Iss. 6. P. 4384–4397. DOI: 10.3168/jds.2015-991
4. Mora-Ortiz M., Swain M. T., Vickers M. J., Hegarty M. J., Kelly R., Smith L. M. J., Skøt L. De-novo transcriptome assembly for gene identification, analysis, annotation, and molecular marker discovery in Onobrychis viciifolia // BMC Genomics. 2016. Vol. 17(1), Article number: 756. DOI: 10/1186/s12864-016-3083-6
5. Vasileva V., Naydenova Y., Stoycheva I. Nutritive value of forage biomass from sainfoin mixtures // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26(5), P. 942–949. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.03.012

Поступила: 25.10.24; доработана после рецензирования: 14.11.24; принята к публикации: 15.11.24.

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. Регидин А. А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев С. А. – концептуализация исследования, анализ данных; Горюнов К. Н – проведение полевого опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.11»321»:631.52(470.5) **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-61-67**

НИЦА – НОВЫЙ СОРТ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ УРАЛЬСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Н. Н. Зезин, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, руководитель ФГБНУ УрФАНИЦ УрОРАН, uralniishoz@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7208-3904;
В. А. Воробьев, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-3256-7522;
А. В. Воробьев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-0377-8419;
З. Р. Николаева, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0119-4180;
Л. В. Маленкова, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства яровой пшеницы, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0871-8418
ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН), 620142, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 112-а

Цель работы – охарактеризовать по хозяйственно полезным признакам и свойствам сорт яровой мягкой пшеницы уральской селекции Ница в сравнении со стандартом и сортами отечественной и зарубежной селекции. Исследования проведены в Уральском федеральном аграрном научном центре Уральского отделения РАН в 2020–2023 гг. в специализированном селекционном севообороте, поля которого отражают основной спектр почв региона Среднего Урала. Сорт Ница, созданный методом внутривидовой гибридизации между родителями Екатерина (мать) и Красноуфимская 100 (отец), включен в Государственный реестр селекционных достижений по Волго-Вятскому и Восточно-Сибирскому регионам Российской Федерации с 2024 года. Средняя урожайность сорта за годы конкурсного испытания составила 3,82 т/га, что выше стандарта (Екатерина) на 0,36 т/га, или на 10,4 %. В экологическом испытании в Красноуфимском селекционном центре (2021–2023 гг.) средняя урожайность Ницы составила 3,40 т/га, или на 0,42 т/га (14,1%) выше Екатерины, отмечено превышение над раннеспелыми сортами Экстра и Ирень (5,0–32,8 %), среднеранними – Тюменская ранняя, Свеча и Новосибирская 31 (13,7–17,6 %). Определено, что новый сорт сформировал такую же урожайность, как среднеспелые сорта Экада 70, Дарья, Омская 36. Установлено, что Ница по показателю «стрессоустойчивость» равноценна Ирени и Екатерине и превзошла все изученные среднеранние и среднеспелые сорта. Показатель «селекционная ценность генотипа сорта» свидетельствует, что Ница формирует высокую урожайность в сочетании со стабильностью. Доказано преимущество сорта по всем показателям энергетической эффективности. Определена слабая восприимчивость Ницы на инфекционном фоне к пыльной и твердой головне, корневым гнилям. Установлено, что новый сорт по хлебопекарным качествам относится к ценным пшеницам, по нормативам для заготовляемого зерна – к третьему классу. Результаты исследований показали, что Ница может быть использована в селекции в качестве источника высокой продуктивности, стабильности, устойчивости к болезням и улучшения хлебопекарных свойств зерна.

Ключевые слова: *яровая пшеница (Triticum aestivum L.), сорт, селекция, продуктивность, адаптивная способность, стабильность, энергетическая эффективность.*

Для цитирования*: Зезин Н. Н., Воробьев В. А., Воробьев А. В., Николаева З. Р., Маленкова Л. В. Ница – новый сорт яровой мягкой пшеницы уральской селекции // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 61–67. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-61-67.*

(cc) BY

NITSA IS A NEW SPRING COMMON WHEAT VARIETY OF URAL BREEDING

N. N. Zezin, Doctor of Agricultural Sciences, corresponding member of the RAS, head of the FSBSI UralFARC UB RAS, uralniishoz@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7208-3904;
V. A. Vorobiev, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for spring wheat breeding and seed production, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-3256-7522;
A. V. Vorobiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring wheat breeding and seed production, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0003-0377-8419;
Z. R. Nikolaeva, researcher of the laboratory for spring wheat breeding and seed production, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0119-4180;
L. V. Malenkova, researcher of the laboratory for spring wheat breeding and seed production, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-0871-8418;
FSBSI «Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (FSBSI UrFARC UrB RAS), 620142, Sverdlov region, Ekaterinburg, Belinsky Str., 112-a

The purpose of the current study was to characterize the spring common wheat variety ‘Nitsa’ of Ural breeding by its economically useful traits and properties in comparison with the standard variety and varieties of domestic and foreign breeding. The study was conducted at the Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS in a specialized breeding crop rotation, the fields of which present the main range of soils in the Middle Urals

region in 2020–2023. The variety 'Nitsa', developed by the method of intraspecific hybridization between the parents 'Ekaterina' (mother) and 'Krasnoufimskaya 100' (father), has been included in the State List of Breeding Achievements in the Volga-Vyatka and East Siberian regions of the Russian Federation since 2024. The mean productivity of the variety over the years of competitive variety testing was 3.82 t/ha, which is higher than that of the standard variety ('Ekaterina') by 0.36 t/ha or 10.4 %. In the environmental testing at the Krasnoufimsk Breeding Center (2021–2023), the mean productivity of 'Nitsa' was 3.40 t/ha, or 0.42 t/ha (14.1 %) higher than that of 'Ekaterina', there was identified an excess over the early-maturing varieties 'Ekstra' and 'Iren' (5.0–32.8 %), the middle-early varieties 'Tyumenskaya rannyaya', 'Svecha' and 'Novosibirskaya 31' (13.7–17.6 %). It was determined that the new variety formed the same productivity as the middle- maturing varieties 'Ekada 70', 'Dariya', 'Omskaya 36'. It was established that stress resistance of 'Nitsa' was equal to 'Iren' and 'Ekaterina' and surpassed all the studied middle-early and middle-maturing varieties. The trait 'breeding value of a variety genotype' has shown that 'Nitsa' forms a high productivity combined with stability. There has been proven a variety's advantage according to all energy efficiency indicators. There was established weak susceptibility of the variety 'Nitsa' against infectious background to loose and kernel smut, root rots. There was identified that baking properties of the new variety belonged to valuable wheat, and to the third class according to the standards for harvested grain. The research results have shown that wheat can be used in breeding as a source of high productivity, stability, disease resistance and improvement of the baking properties of grain.

Keywords: *spring wheat (Triticum aestivum L.), variety, breeding, productivity, adaptive capacity, stability, energy efficiency.*

Введение. На протяжении многих лет широкое распространение в 37 субъектах Российской Федерации семи почвенно-экономических регионов (из 12) получили сорта Красноуфимского селекционного центра Уральского НИИСХ филиала ФГБНУ Ур ФАНИЦ УрО РАН, ежегодно высеваемые на площади 1,0–1,2 млн га. Среди них сорт Ирень, занимавший в рейтинге 10 самых распространенных сортов – лидеров Российской Федерации в 2021–2023 гг. – первое место (Воробьев и Николаева, 2024).

С точки зрения экологической генетики сорт является в широком смысле результатом взаимодействия системы «генотип–среда», состояние которой определяет уровень урожайности. Возникает необходимость комплексного подхода к формированию селекционных программ для ее повышения и потенциала онтогенетической адаптивности. Высокая адаптивная способность сортов выступает в качестве важного фактора интенсификации растениеводства и объясняет широкое распространение сортов Уральского НИИСХ в различных агроклиматических зонах РФ.

Наблюдаемая в последние десятилетия тенденция к повышению среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период на Среднем Урале на 1,7 °С и увеличению безморозного периода на 11 суток (Зезин и др. 2017) обусловила переориентирование селекции яровой пшеницы в сторону создания среднеранних сортов. Такие генотипы потенциально более урожайные (Dwivedi et. al., 2014), имеют преимущество над раннеспелыми по приросту массы зерна за сутки вегетации, а также на 1 мм выпавших осадков с 1 га. (Воробьев и Воробьев, 2017). Создаваемые сорта должны обеспечивать генетическую защищенность от присущих региону нерегулируемых отрицательных факторов внешней среды с высокой энергетической эффективностью возделывания (Воробьев и Воробьев, 2021).

Цель – охарактеризовать по хозяйственно полезным признакам и свойствам сорт яровой мягкой пшеницы уральской селекции Ница в сравнении со стандартом и сортами отечественной и зарубежной селекции.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты проведены на полях Красноуфимского селекционного центра Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в рамках Государственного задания по теме «Разработка и совершенствование методов селекционной работы, создание исходного материала и адаптивных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных, декоративных культур и картофеля». При создании сорта применена внутривидовая гибридизация между различающимися по скороспелости родительскими формами – Екатерина (среднеранний) и Красноуфимская 100 (среднеспелый), проведены индивидуальный отбор элитных растений из гибрида F4, последующая их оценка по хозяйственно полезным признакам в селекционных питомниках 1–3-го годов изучения, в контрольном питомнике, конкурсном и экологическом испытании. Оценка устойчивости к пыльной и твердой головне, корневым гнилям определялась на изолированном участке Красноуфимского селекцентра на инфекционном фоне по методикам «Иммунологическая характеристика редких видов пшеницы» (1975), «Оценка сельскохозяйственных культур на устойчивость к болезням Сибири» (1981).

Экологическое испытание Ницы проведено в Красноуфимском селекцентре (2021–2023 гг.) в сравнении с включенными в Госреестр селекционных достижений сортами Экстра, Екатерина, Тюменская ранняя, Свеча, Экада 70 и с входящими в рейтинг 10 сортов-лидеров в РФ в 2020–2023 гг. Иренью, Новосибирской 31, Ликамеро, Дарьей, Омской 36. С применением апробированных методик (Поползухин и др., 2018) изучен уровень стрессоустойчивости сорта (разность между минимальной и максимальной урожайностью) и показатель соответствия генотипа факторам окружающей среды (средняя величина суммы минимальной и максимальной урожайности, характеризующей генетическую гибкость сорта и его приспособительные возможности). Ница оценена на общую адаптивную способность и селекционную ценность генотипа (Кильчевский и Хотылева, 1985)

и энергетическую эффективность возделывания (Моисеенко и др., 2004).

Качественные показатели зерна и хлебопекарные свойства определены в химико-технологической лаборатории Красноуфимского селекционного центра согласно межгосударственному стандарту (ГОСТ 34702-2020) по средней пробе образца в двукратной повторности.

Опыты закладывали на типичных для Среднего Урала серой лесной и темно-серой лесной почвах (Зезин и др., 2020) селекционного севооборота, предшественник – рапс на сидерат. Наблюдались влагообеспеченный 2020 г. (количество осадков за период «всходы – созревание» 278 мм, ГТК – 2,5), умеренно обеспеченные 2022 и 2023 гг. (количество осадков 170–177 мм, ГТК – 0,9–1,2) и засушливый 2021 г. (количество осадков 80 мм, ГТК – 0,6).

Посев осуществляли сеялкой ССФК-7 с нормой высева 7 млн всхожих зерен на 1 га (в 2020–2022 гг. в первой декаде мая, в 2023 г. – 24 апреля), повторность в конкурсном испытании четырехкратная, площадь делянки 19 м^2, в экологическом испытании – трехкратная, площадь делянки 12,5 м^2. Доза минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$. Уборку проводили комбайном Хеге-125 7 августа (2021 г.) и 23–25 августа (2020, 2022, 2023 гг.). Сделана обработка экспериментальных данных (Доспехов, 2014)

Результаты и их обсуждение. В Государственный реестр селекционных достижений по Волго-Вятскому и Восточно-Сибирскому регионам РФ с 2024 г. включен среднеранний сорт яровой мягкой пшеницы Ница (Патент № 13446), созданный методом внутривидовой гибридизации между среднеранней материнской формой (Екатерина) и среднеспелой отцовской (Красноуфимская 100). Скрещивания проведены по ранее отработанной схеме, где родители различаются скороспелостью с разницей не менее 3–4-х суток. По такой методике были созданы среднеранние сорта Красноуфимская 90, Екатерина (рис. 1).

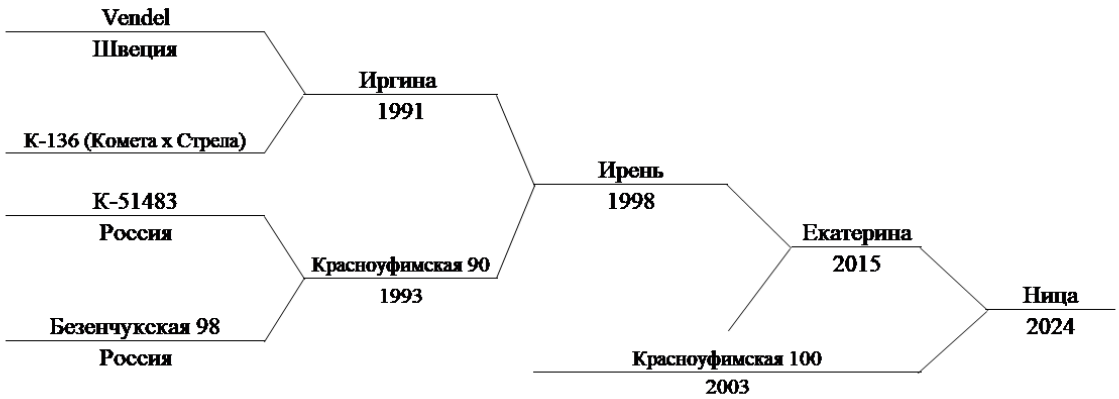


Рис. 1. Генеалогия сорта яровой мягкой пшеницы Ница
Fig. 1. Genealogy of the spring common wheat variety 'Nitsa'

В родословной участвовали устойчивые к полеганию и болезням высококачественные сорта ценной и сильной пшеницы с высокими параметрами адаптивной способности и величинами селекционных индексов (аттракции, микрораспределения пластичных веществ из чешуи в зерновку, продуктивности колоса, интенсивности налива зерна) Иргина, Ирень, Красноуфимская 90, Красноуфимская 100, Екатерина (Зезин и др., 2022).

Разновидность сорта Ница – Lutesces. Тип куста полупрямостоячий, количество растений с наклонным флаговым листом большое, восковой налет на влагалище флагового листа сильный, выполненность соломины в поперечном сечении слабая, восковой налет на верхнем междоузлии соломины сильный. Колос пирамидальный средней плотности и длины. Остевидные отростки на конце колоса короткие. Колосковая чешуя овальная, опушение ее внутренней стороны слабое. Плечо нижней колосковой чешуи узкое или среднее, в средней трети колоса скошенное. Зубец колосковой чешуи короткий прямой или слегка изогнут. Зубец нижней цветной чешуи прямой или слегка изогнут. Окрашивание зерновки фенолом темное.

Средняя урожайность Ницы по сравнению со стандартом (Екатерина) выше на 0,36 т/га (10,5 %). За годы изучения она изменялась от 2,10 до 4,30 т/га. Ежегодное превышение над Екатериной составило в условиях умеренного увлажнения (2022, 2023 гг.) 6,0–7,2 %, в засушливом 2021 г. – 11,2 %, в условиях повышенного увлажнения (2020 г.) – 19,3 % (табл. 1).

Новый сорт с такой же продолжительностью межфазных периодов «всходы–колошение» и «колошение – созревание», как у стандарта, превышает его по массе зерна с колоса на 13,0 %, массе 1000 зерен – на 7,8 %, количеству зерен в колосе – на 4,0 %, приросту зерна в урожае за сутки вегетации – на 10,5 %, в том числе за период от колошения до созревания на 9,5 %, и на 1 мм осадков – на 9,2 % за период от всходов до созревания.

Ница формирует высококачественное зерно. Натурная масса зерна, число падения, интегральный показатель качества – валориме-

трическая оценка, являющаяся суммарной оценкой хлебопекарных свойств, у сорта такая же, как у стандарта. Отмечено превосходство над Екатериной по количеству клейковины в относительном выражении на 9,7 %, по объемному выходу хлеба – на 40 мл (в засушливом 2021 г. на 110 мл, или на 12,5 %). Ница, согласно классификационным нормам, по общей хлебопекарной оценке относится к классу ценной пшеницы (4,5 балла), по требованиям для заготавливаемого зерна – к третьему классу качества (табл. 2).

Таблица 1. Урожайность зерна яровой мягкой пшеницы Ница в конкурсном испытании в сравнении со стандартом (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, 2020–2023 гг.)
Table 1. Grain productivity of the spring common wheat variety 'Nitsa' in the competitive variety testing in comparison with the standard variety (FSBSI UralFARC UB RAS, 2020–2023)

Сорт	Урожайность, т/га				
	Годы				
	2020	2021	2022	2023	Среднее
Екатерина (стандарт)	3,42	2,10	4,30	4,02	3,46
Ница	4,08	2,33	4,58	4,31	3,82
Превышение к стандарту по годам	0,66	0,23	0,28	0,29	0,36
$НСР_{05}$	0,28	0,15	0,28	0,24	–

Таблица 2. Хозяйственно-биологическая характеристика яровой мягкой пшеницы Ница в Красноуфимском селекцентре (2020–2023 гг.)
Table 2. Economic and biological characteristics of the spring common wheat variety 'Nitsa' in the Krasnoufimsk breeding center (2020–2023)

Показатель	Екатерина, (стандарт)	Новый сорт Ница	Отклонение от стандарта,		$НСР_{05}$
			+/-	%	
Вегетационный период, сут.	81	81	0	0	–
Период «всходы–колошение», сут.	46	46	0	0	–
Период «колошение–созревание», сут.	35	35	0	0	–
Масса зерна с колоса, г	0,46	0,52	+0,06	13,0	0,03
Масса 1000 зерен, г	37,3	40,2	+2,9	7,8	1,2
Озерненность колоса, зерен	12,4	12,9	+0,5	4,0	0,5
Прирост зерна в сутки в период «всходы – созревание», кг/га	42,7	47,2	+4,5	10,5	3,3
Прирост зерна в 1 сутки за период «колошение – созревание», кг/га	98,8	108,2	+9,4	9,5	7,4
Прирост зерна на 1 мм осадков за период «всходы – созревание», кг/га	21,6	23,6	+2,0	9,2	0,9
Натурная масса зерна, г/л	806	794	-12	-1,5	–
Количество клейковины в зерне, %	22,6	24,8	+2,2	9,7	–
Сбор клейковины с 1 га, кг	782	947	+167	21,1	–
Число падения, с	239	227	-12	-5,3	–
Валориметрическая оценка, ед. вал.	60	62	+2	+3,3	–
Объем хлеба из 100 г муки, мл	810	850	+40	4,9	–
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,4	4,5	+0,1	2,3	–

Оценка при искусственном заражении показала слабую восприимчивость нового сорта к поражению пыльной и твердой головней, корневыми гнилями. В условиях засухи (2021 г.) у Ницы и Екатерины отмечена практическая устойчивость (поражение не более 5 %) к пыльной и твердой головне (табл. 3). В условиях естественного заражения поражение у нового сорта и стандарта отсутствовало.

Таблица 3. Поражение болезнями яровой пшеницы Ница в условиях искусственного заражения (2020–2023 гг.)
Table 3. Disease damage of the spring common wheat variety 'Nitsa' under artificial infection conditions (2020–2023)

Болезнь	Год	Екатерина (стандарт)	Ница (новый сорт)	Тип реакции
Пыльная головня, %	2020	28	2	Слабая восприимчивость
	2021	0	1	
	2022	30	15	
	2023	33	30	
Твердая головня, %	2020	7	9	Слабая восприимчивость
	2021	5	0	
	2022	10	13	
	2023	6	12	

Продолжение табл. 3

Болезнь	Год	Екатерина (стандарт)	Ница (новый сорт)	Тип реакции
Корневые гнили, %	2020	16	18	Слабая восприимчивость
	2021	9	11	
	2022	8	12	
	2023	9	2	

В экологическом испытании Ница имела преимущество над Екатериной (0,42 т/га, 14,1 %), раннеспелыми сортами – Иренью (0,84 т/га, 32,8 %) и Экстрой 0,16 т/га, 4,9 %), среднеранними – Тюменской ранней, Свечой и Новосибирской 31 (0,41–0,51 т/га, 13,7–17,6 %), сформировала урожайность на уровне среднеспелых сортов (Экада 70, Дарья, Омская 36), продолжительность вегетационного периода у которых длиннее, чем у Ницы, на 4–6 суток (табл. 4).

Таблица 4. Параметры стрессоустойчивости адаптивной способности, стабильности яровой мягкой пшеницы Ница в экологическом испытании (2021–2023 гг.)
Table 4. Parameters of stress resistance, adaptive capacity, stability of the spring common wheat variety 'Nitsa' in the environmental testing (2021–2023)

Сорт	Средняя урожайность, т/га	Лимиты урожайности, т/га		Стрессо-устойчивость (Min–Max), т/га	Соответствие генотипа факторам среды (Min+Max):2, т/га	Общая адаптивная способность	Специфическая адаптивная способность	Селекционная ценность генотипа
		Min	Max					
		2021	2022					
Раннеспелые сорта (вегетация 77 суток)								
Ирень	2,56	1,87	2,92	-1,05	2,10	-0,64	0,60	1,42
Экстра	3,24	2,49	3,78	-1,29	3,14	+0,04	0,67	1,97
Среднее	2,90	2,18	3,35	-1,17	2,76	-0,30	0,64	1,70
Среднеранние сорта (вегетация 79–80 суток)								
Екатерина	2,98	2,44	3,28	-0,84	2,86	-0,22	0,47	2,09
Ница	3,40	2,80	3,84	-1,04	3,32	+0,20	0,54	2,37
Тюменская ранняя	2,99	1,94	3,82	-1,88	2,88	-0,18	0,97	1,18
Свеча	2,89	1,93	3,39	-1,46	2,66	-0,31	0,83	1,31
Новосибирская 31	2,96	2,04	3,63	-1,59	2,84	-0,24	0,82	1,40
Среднее	3,04	2,23	3,59	-1,36	2,91	-0,15	0,73	1,67
Среднеспелые сорта (вегетация 84–86 суток)								
Экада 70	3,54	2,34	4,26	-1,92	3,30	+0,28	1,10	1,39
Дарья	3,48	2,23	4,33	-2,10	3,28	+0,34	1,04	1,56
Ликамеро	3,64	2,68	4,79	-2,11	3,74	+0,44	1,07	1,61
Омская 36	3,46	2,35	4,26	-1,91	3,30	+0,26	0,99	1,58
Среднее	3,53	2,40	4,41	-2,01	3,40	+0,33	1,05	1,54
$НСР_{05}$	0,27	–	–	–	–	–	–	

При неблагоприятных климатических условиях 2021 г. (недостаток влаги), когда был собран низкий урожай, Ница показала преимущество над раннеспелыми сортами (0,31–0,93 т/га), среднеранними (0,36–0,87 т/га) и среднеспелыми (0,12–0,46 т/га).

В благоприятном 2022 г. урожайность составила 3,84 т/га, или столько же, сколько у Экстры и Тюменской ранней, и была выше, чем у Ирени, Екатерины, Свечи, Новосибирской 31, на 0,21–0,92 т/га и ниже, чем у среднеспелых сортов (Экада 70, Дарья, Ликамеро, Омская 36), на 0,42–0,95 т/га.

По разнице между минимальной и максимальной урожайностью (стрессоустойчивость) Ница уступает Екатерине, равноценна Ирени, превосходит Экстру, среднеранние и среднеспелые сорта. Это указывает на высокие адаптивные возможности сорта. Отмечено, что в среднем стрессоустойчивость падает от сортов раннеспелой группы (-1,17) к среднеранней (-1,36) и среднеспелой (-2,01).

Генотип Ницы в большей степени соответствует условиям окружающей среды, о чем свидетельствует более высокая средняя сумма минимальной и максимальной урожайности (3,32 т/га), чем у раннеспелых (2,40–3,14 т/га) и среднеранних сортов (2,66–2,88 т/га). Ница как в стрессовых, так и в благоприятных условиях среды дает такую же урожайность, как сорта среднеспелой группы Экада 70, Дарья, Омская 36 (3,28–3,30 т/га). Исключение отмечено у сорта Ликамеро, который по этому показателю превысил Ницу.

Другим статистическим методом анализа взаимодействия генотипа и среды является анализ общей и специфической адаптивной способности генотипов, селекционной ценно-

сти генотипа. Показано, что Ница превысила по общей адаптивной способности раннеспелые и среднеранние сорта, была на уровне со среднеспелыми (Экада 70, Омская 36) и уступила среднеспелым (Дарье и Ликамеро). По специфической адаптивной способности новый сорт равноценен Екатерине, превысил раннеспелые, среднеранние и значительно – среднеспелые сорта. По показателю «селекционная ценность генотипа» Ница имела преимущество над всеми изученными сортами. Это предопределяет широкое распространение сорта и перспективы его использования в селекционном процессе для создания высокоурожайных, высокоадаптированных к условиям среды новых сортов.

Отмечено преимущество Ницы над стандартом, раннеспелыми и среднеранними сортами по полученной энергии с урожаем, чистому энергетическому доходу с 1 га. Выявлены более низкие затраты энергии на производство 1 т зерна, чем при возделывании сортов Ирень, Екатерина, Тюменская ранняя, Свеча. По биоэнергетическому коэффициенту Ница превышает Ирень, Екатерину, Свечу (табл. 5).

Таблица 5. Энергетическая эффективность возделывания сортов яровой мягкой пшеницы в экологическом испытании (2021–2023 гг.)
Table 5. Energy efficiency of spring common wheat varieties' cultivation in the environmental testing (2021–2023)

Сорт	Затраты совокупной энергии, ГДЖ/га	Получено энергии, ГДЖ/га	Чистый энергетический доход, ГДЖ/га	Энергоемкость, ГДЖ/т	Биоэнергетический коэффициент
Раннеспелые сорта (вегетация 77 суток)					
Ирень	30,04	42,11	12,07	11,73	1,40
Экстра	31,38	53,30	21,92	9,63	1,70
Среднее	30,71	47,70	17,00	10,70	1,55
Среднеранние сорта (вегетация 79–80 суток)					
Екатерина	30,97	49,08	18,11	10,39	1,57
Ница	33,60	55,99	22,38	9,88	1,67
Тюменская ранняя	30,19	49,73	19,54	10,10	1,65
Свеча	30,45	47,54	17,09	10,54	1,56
Новосибирская 31	29,10	48,69	19,59	9,83	1,67
Среднее	30,86	50,21	19,34	10,15	1,62
Среднеспелые сорта (вегетация 84–86 суток)					
Экада 70	32,74	58,18	25,44	9,24	1,78
Дарья	30,12	57,19	27,07	8,66	1,90
Ликамеро	31,87	59,94	28,07	8,76	1,88
Омская 36	31,87	56,86	24,99	9,21	1,78
Среднее	31,65	58,04	26,39	8,97	1,84

С 2024 г. Ница включена в Госреестр селекционных достижений по Волго-Вятскому и Восточно-Сибирскому регионам, где она имеет преимущество над стандартными сортами. В государственном испытании в 2022 г. на шести сортоучастках Красноярского края получена средняя урожайность нового сорта 4,72 т/га (максимальная – 7,37 т/га на Уярском ГСУ), что на 0,5 т/га (11,8 %) выше стандарта Алтайская 70. Отмечена высокая урожайность Ницы в экологическом испытании ССЦ АО «Щелково Агрохим, ООО НПО «Бетагран» в 2023 г. – 7,72 т/га. В КФК «Радужное» Мариинского района Кемеровской области в 2023 г. урожайность Ницы составила 6,0 т/га, что на 1,8 т/га выше, чем у сорта Экстра. В настоящее время сорт внедряется в хозяйствах Красноярского края, Иркутской, Кемеровской, Свердловской областей.

Выводы. В результате проведенных исследований внесенный в Государственный реестр селекционных достижений с 2024 г. по Волго-Вятскому и Восточно-Сибирскому региона РФ новый среднеранний сорт мягкой яровой пшеницы Ница, высокоадаптированный к условиям Среднего Урала, показал слабую восприимчивость к основным заболеваниям (пыльная и твердая головня, корневые гнили). С урожайностью в конкурсном и экологическом испытании 3,4–3,82 т/га превысил стандартный сорт Екатерина на 0,30–0,42 т/га, показал преимущество по стрессоустойчивости над сортами Экстра, Тюменская ранняя, Свеча, Новосибирская 31, Экада 70, Дарья, Ликамеро, Омская 36.

По хлебопекарным показателям сорт Ница отнесен к ценным пшеницам, по требованиям для заготовляемого зерна – к третьему классу.

Библиографический список

1. Воробьев А. В., Николаева З. Р. Оценка исходного материала яровой мягкой пшеницы на продуктивность с использованием селекционных индексов // АПК России. 2024. Т. 31, № 1. С. 7–13. DOI: 10.55934/2587-8824-2024-31-1-7-13

2. Воробьев В. А., Воробьев А. В. Специфика накопления зерна в урожае сортов яровой пшеницы в условиях юго-запада Свердловской области // Интерактивная наука. 2017. № 11(21). С. 11–15. DOI: 10/21661/r-464919

3. Воробьев В. А., Воробьев А. В. Селекция яровой пшеницы на Среднем Урале: монография. Екатеринбург: изд. «ООО Джи Лайм», 2021. 193 с.
4. Зезин Н. Н., Воробьев В. А., Воробьев А. В. Екатерина – новый сорт яровой пшеницы для адаптивно-ландшафтной системы земледелия Среднего Урала // Зерновое хозяйство России. 2017. № 1(49). С. 62–66.
5. Зезин Н. Н., Воробьев В. А., Воробьев А. В., Николаева З. Р. Приоритетная технология создания новых высокоурожайных сортов яровой мягкой пшеницы на Среднем Урале // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-59-63
6. Зезин Н. Н., Воробьев В. А., Воробьев А. В., Безгодов А. В., Николаева З. Р. Яровая мягкая пшеница Экстра // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6(72). С. 64–70. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-64-70
7. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Методы оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 2. Числовой пример и обсуждение // Генетика. 1985. Т. 21, № 9. С. 1491–1498.
8. Моисеенко А. А., Негода Л. А., Устименко О. П. Биологическая оценка возделывания зерновых культур // Земледелие. 2004. № 5. С. 24.
9. Поползухин П. В., Гайдар А. А., Кузьмина Е. С., Паршуткин Ю. Ю. Состояние и перспективы научного обеспечения АПК Сибири // Сборник научных статей, посвященный 190-летию опытного дела в Сибири, 100-летию сельскохозяйственной науки в Омском Прииртышье и 85-летию образованию Сибирского НИИ сельского хозяйства (Омск, 17–18 июля 2018 года). Омск, 2018.С. 201–205.
10. Dwivedi S. L., Sahrawat K. L. Upadhyaya H. D., Ortiz R. Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change // Advances in agronomy. 2013. Vol. 120, P. 1–128.

References

1. Vorob'ev A. V., Nikolaeva Z. R. Otsenka iskhodnogo materiala yarovoi myagkoi pshenitsy na produktivnost' s ispol'zovaniem selektsionnykh indeksov [Estimation of initial material of spring common wheat for productivity using breeding indices] // APK Rossii. 2024. T. 31, № 1. S. 7–13. DOI: 10.55934/2587-8824-2024-31-1-7-13
2. Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V. Spetsifika nakopleniya zerna v urozhae sortov yarovoi pshenitsy v usloviyakh yugo-zapada Sverdlovskoi oblasti [Specificity of grain accumulation in the yield of spring wheat varieties in the southwest of the Sverdlovsk region] // Interaktivnaya nauka. 2017. № 11(21). S. 11–15. DOI: 10/21661/r-464919
3. Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V. Selektsiya yarovoi pshenitsy na Srednem Urale: monografiya [Spring wheat breeding in the Middle Urals: monograph]. Ekaterinburg: izd. «OOO Dzhi Laim», 2021. 193 s.
4. Zezin N. N., Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V. Ekaterina – novyi sort yarovoi pshenitsy dlya adaptivno-landshaftnoi sistemy zemledeliya Srednego Urala ['Ekaterina' is a new spring wheat variety for the adaptive-landscape farming system of the Middle Urals] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 1(49). S. 62–66.
5. Zezin N. N., Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V., Nikolaeva Z. R. Prioritetnaya tekhnologiya sozdaniya novykh vysokourozhainykh sortov yarovoi myagkoi pshenitsy na Srednem Urale [Priority technology for developing new highly productive spring common wheat varieties in the Middle Urals] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-59-63
6. Zezin N. N., Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V., Bezgodov A. V., Nikolaeva Z. R. Yarovaya myagkaya pshenitsa Ekstra [Spring common wheat 'Ekstra'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 6(72). S. 64–70. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-64-70
7. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. Metody otsenki adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differentsiruyushchei sposobnosti sredy. Soobshchenie 2. Chislovoi primer i obsuzhdenie [Methods for estimating adaptive capacity and stability of genotypes, differentiating capacity of the environment. Message 2. Numerical example and discussion] // Genetika. 1985. T. 21, № 9. S. 1491–1498.
8. Moiseenko A. A., Negoda L. A., Ustimenko O. P. Biologicheskaya otsenka vozdelyvaniya zernovykh kul'tur [Biological estimation of grain crop cultivation] // Zemledelie. 2004. № 5. S. 24.
9. Popolzukhin P. V., Gaidar A. A., Kuz'mina E. S., Parshutkin Yu. Yu. «Sostoyanie i perspektivy nauchnogo obespecheniya APK Sibiri [The state and prospects of scientific support for the Agro-Industrial Complex of Siberia] // Sbornik nauchnykh statei, posvyashchennyi 190-letiyu opytnogo dela v Sibiri, 100-letiyu sel'skokhozyaistvennoi nauki v Omskom Priirtysh'e i 85-letiyu obrazovaniyu Sibirskogo NII sel'skogo khozyaistva (Omsk, 17–18 iyulya 2018 goda). Omsk, 2018. S. 201–205.
10. Dwivedi S. L., Sahrawat K. L. Upadhyaya H. D., Ortiz R. Food, nutrition and agrobiodiversity under global climate change // Advances in agronomy. 2013. Vol. 120, P. 1–128.

Поступила: 04.07.24; доработана после рецензирования: 22.11.24; принята к публикации: 22.11.24.

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

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Зезин Н. Н. – концептуализация исследований; Воробьев В. А. – подготовка опыта; Воробьев А. В., Николаева З. Р. – выполнение полевых и лабораторных опытов; Маленкова Л. В. – выполнение технологических и хлебопекарных качеств; Воробьев В. А., Воробьев А. В. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.358:631.526.32-048.24 DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-68-73

СОРТ ГОРОХА ПОСЕВНОГО КАЗАК

А. Р. Ашиев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;
К. Н. Хабибуллин, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;
М. В. Скулова, агроном лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, povolotskaya68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703;
Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической, технологической агрохимической оценки качества зерна, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548
ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Горох – одна из наиболее распространенных зернобобовых культур, ценность которой определяется широким спектром применения. Традиционные сорта гороха часто страдали от низкой урожайности и недостаточной устойчивости к неблагоприятным погодным условиям, таким как засуха, заморозки и поражение болезнями. Современная селекция позволила создать новые усатые сорта гороха с детерминантным типом роста (ограниченным ростом стебля), что значительно упрощает механизированную уборку. В связи с этим цель наших исследований заключалась в создании нового высокопродуктивного сорта гороха, обладающего устойчивостью к экстремальным условиям окружающей среды и высокими кормовыми и пищевыми качествами. В ходе многолетней селекционной работы, включающей скрещивание различных исходных форм, отбор лучших генотипов и строгий контроль параметров урожайности и устойчивости, сорт Казак проходил изучение в конкурсных сортоиспытаниях в 2020–2022 гг. под номером Г-1122. Элементы структуры урожая показали, что прибавка урожая семян гороха формируется за счет всех элементов семенной продуктивности. Число продуктивных бобов у сорта Казак составило 4,9 шт./раст., число семян на растении – 16,3 шт./раст., масса 1000 семян – 206,7 г, продуктивность одного растения – 3,4 г/раст., содержание белка – 25 %. За счет более высоких показателей элементов структуры урожая удалось сформировать урожайность от 2,40 до 4,41 т/га, что в среднем выше стандарта (2,07–3,42 т/га) на 0,50 т/га. Расчет экономической эффективности возделывания сорта показал выход дополнительной продукции на 10110 руб. с гектара, а уровень рентабельности составил 70,6 %. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение адаптивного потенциала сорта в различных климатических зонах и особенностей сортовой агротехники с целью достижения максимальной урожайности. Особое внимание будет уделено изучению генетического потенциала сорта Казак для выведения новых, еще более продуктивных и устойчивых сортов гороха.

Ключевые слова: *горох, сорт, сортоиспытание, урожайность семян, качество, белок.*
Для цитирования: *Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Кравченко Н. С. Сорт гороха посевного Казак // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 68–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-68-73.*

(cc) BY

A PEA VARIETY ‘KAZAK’

A. R. Ashiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;
K. N. Khabibullin, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;
M. V. Skulova, agronomist of the laboratory for legumes breeding and seed production, povolotskaya68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703;
N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation of breeding material and seed quality, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Peas is one of the most common leguminous crops, the value of which is determined by a wide range of use. Traditional pea varieties often suffer from poor productivity and insufficient tolerance to adverse weather conditions such as drought, frost, and diseases. Modern plant breeding has made it possible to develop new leafless pea varieties with a determinate growth type (limited stem growth), which significantly simplifies mechanized harvesting. In this regard, the purpose of the current study was to develop a new highly productive pea variety with resistance to extreme environmental conditions and high feed and food qualities. During a long-term breeding work, including a various initial forms’ crossing, a selection of the best genotypes and a strict control of productivity and stability parameters, the variety ‘Kazak’ was studied in the Competitive Variety Testing under number G-1122 in 2020–2022. The yield structure elements have shown that pea seed productivity has increased due to all elements of seed productivity. Number of productive beans per plant of the variety ‘Kazak’ was 4.9 pcs., number of seeds per plant was

16.3 pcs., 1000-seed weight was 206.7 g, productivity of one plant was 3.4 g, and protein in seeds was 25%. Due to higher indicators of the yield structure elements, it was possible to form productivity from 2.40 to 4.41 t/ha, which is on average 0.50 t/ha higher than that of the standard (2.07–3.42 t/ha). Economic efficiency of the variety cultivation has shown an additional output of 10,110 rubles per hectare, and the profitability level was 70.6%. Further work is going to be aimed at the study of adaptive potential of the variety in various climatic areas and the features of varietal agricultural technology to achieve maximum productivity. Particular attention is going to be paid to the study of genetic potential of the variety 'Kazak' for breeding new, even more productive and resistant pea varieties.

Keywords: *peas, variety, variety testing, seed productivity, quality, protein.*

Введение. Горох – ценная сельскохозяйственная культура, и его посевные площади в последние годы увеличиваются – они составляют 1,5 млн га, и на них производится около 3 млн т зерна (Задорин и др., 2022). Большое разнообразие внешнего вида и полезных характеристик позволяет использовать данную культуру в различных системах земледелия во многих странах мира (Крылова и др., 2020). Горох – один из немногих растительных источников белка, содержащий полный набор незаменимых аминокислот, и именно это делает гороховый белок настолько ценным, он приближается по качеству к белку животного происхождения. Современные селекционные достижения позволили значительно повысить белковую продуктивность гороха. Российские ученые вывели сорта, содержание белка в которых достигает 23–26 % и даже больше. В частности, Северо-Кавказский регион славится сортами гороха с рекордным содержанием белка – до 28 %, что объясняется благоприятным сочетанием климатических условий и плодородных почв. Интересно отметить, что в Восточной Сибири, несмотря на более суровый климат, выведены сорта с высоким содержанием белка – до 25,2 %. Это достижение стало возможным благодаря использованию методов целенаправленной селекции, ориентированной на повышение холодостойкости и синтеза белка в условиях ограниченного вегетационного периода (Андрианова и др., 2020).

Повышение урожайности гороха – стратегически важная задача в контексте глобальной продовольственной безопасности и растущего спроса на растительный белок. Но одной из главных проблем является неполная реализация генетического потенциала высокоурожайных сортов из-за влияния различных стрессовых факторов. К абиотическим стрессам относятся засуха, неблагоприятные температурные режимы (как чрезмерная жара, так и заморозки), повышенная засоленность почвы, недостаток или избыток влаги, а также дефицит питательных веществ. Влияние этих факторов может проявляться в снижении всхожести семян, задержке роста и развития растений, уменьшении количества и размера бобов, а также ухудшении качества зерна. Биотические стрессы, в свою очередь, связаны с поражением растений болезнями и вредителями. Для успешного культивирования высокоурожайных сортов гороха необходимо разработать эффективные стратегии управления стрессовыми факторами (Соболева и др., 2022; Parihar et al., 2022). Для увеличения урожайности семян необходимо использовать эффективные методы селекции. Это может быть как традиционная селекция, основанная на отборе лучших растений, так и современные методы, включающие генную инженерию и молекулярную селекцию (Жогалева и Стрельцова, 2021). Современная селекция гороха демонстрирует впечатляющие результаты, значительно повышая эффективность его выращивания и минимизируя потери урожая. Ключевым достижением стало создание сортов с улучшенной морфологией, прежде всего повышенной устойчивостью к полеганию и осыпанию. На текущий момент, учитывая архитектонику растения, основным направлением селекции является разработка сортов усатого типа, которые обеспечивают оптимальные условия по ряду факторов, включая инсоляцию, воздушную циркуляцию и устойчивость к полеганию (Пономарева, 2018).

Горох высокочувствителен к погодным условиям, особенно к засухе. Как свидетельствуют многочисленные исследования, в условиях водного дефицита масса семян гороха, даже у современных сортов, может уменьшаться на 55–72 %, что приводит к пропорциональному снижению урожайности. В этой связи перед селекционерами гороха стоит актуальная задача – выведение сортов, способных стабильно проявлять свой генетический потенциал и при этом адаптироваться к изменяющимся условиям выращивания (Филатова и Нужная, 2023). Для оценки адаптивных свойств селекционного материала гороха необходимо проводить экологические испытания в разное время и в разных местах, поскольку степень фенотипических проявлений зависит от среды, в которой находятся организмы (Kalapchieva et al., 2022).

В связи с этим цель наших исследований – создать новый сорт гороха, сочетающий высокую продуктивность, устойчивость к экстремальным факторам среды с высокими кормовыми и пищевыми качествами.

Материалы и методы исследований. Исследования по созданию сорта гороха Казак проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенном в городе Зернограде Ростовской области. Регион характеризуется неустойчивым увлажнением, что типично для юга России. Климатические условия полузасушливые (ГТК = 0,80–0,85), годовое количество осадков – 450–500 мм, среднегодовая температура – 8,4–9,2 °С, сумма активных температур (более 10 °С) – 3200–3400 °С. Такие агрометеорологические условия создают значительные риски для выращивания гороха, засухоустойчивость

которого является одним из критически важных показателей для успешного его возделывания.

Предшественник – озимая пшеница, что является стандартной практикой для снижения вредителей и болезней. Селекционный процесс для создания сорта Казак проводили по общепринятой схеме для самоопыляющихся культур. Методология исследований соответствовала методике Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1985) и методике полевого опыта Б. А. Доспехова (2014).

В годы проведения конкурсного сортоиспытания (2020–2022 гг.) сложились различные агроклиматические условия.

Фаза «всходы – цветение» гороха весной 2020 г. проходила в сухой и теплый март и сухой и прохладный апрель, что привело к увеличению продолжительности этой фазы до 50–60 дней. Цветение гороха проходило при достаточном увлажнении и пониженных температурах воздуха мая. Дефицит осадков (54 % от среднемноголетних) и умеренные температуры в июне (23,1 °С, среднемноголетняя – 25,2 °С) привели к снижению массы 1000 семян в фазу налива и созревания семян гороха.

В 2021 г. недостаток продуктивной влаги в почве, сформировавшийся в осенне-зимний период, перекрыли обильные осадки с марта по июнь. Температурный режим данного года был выше среднемноголетних показателей на 0,2–1,6 °С. В совокупности они сформировали благоприятные условия для всего периода от всходов до созревания гороха.

Условия вегетации гороха в 2022 г. были резко изменчивыми. Осадки (57,9 мм) и повышенная температура (12,7 °С) в апреле сформировали комфортные условия для интенсивного роста и развития растений гороха. Но пониженная температура и дефицит осадков в мае – 14,8 °С и 19,1 мм (при среднемноголетнем 16,5 °С и 5,3 мм) отодвинули цветение на конец мая. Продолжающийся дефицит влаги и повышенные температуры летом привели к резкому снижению заложенной при цветении урожайности из-за снижения массы 1000 семян гороха.

Результаты и их обсуждение. Создание сорта гороха Казак было начато в 2011 году. Родительскими формами являлись сорта Русь и Визир. Выбор этих родительских форм обусловлен целью наших исследований. Эти сорта характеризовались среднеранними сроками созревания (75–80 дней), что позволяет уйти от засушливых условий, обычно формирующихся при созревании, средней крупностью семян (180–220 г). Сорт Русь был одним из образцов, имевший высокое содержание белка (26–28 %), по которому его можно отнести к ценным сортам с содержанием белка в семенах более 25 %.

С 2013 г. в F_2 и последующие поколения в этой гибридной популяции проводили многократные индивидуальные отборы. В 2016 г. по результатам оценок прежних лет в селекционном питомнике было выделено элитное растение. Будущий сорт Казак с 2018 г. проходил дальнейшее изучение под селекционным номером Г-1122.

Внешний вид растения, бобов и семян сорта Казак представлен на рисунке.

Растение, бобы и семена гороха посевного сорта Казак
Plants, beans, and seeds of the pea variety ‘Kazak’

Листья усатого морфотипа снижают полегаемость растений, тем самым повышая технологичность возделывания. Прилистники полусердцевидные, зеленые, без антоциана в пазухе листа. Соцветие – двухцветковая кисть. Цветки крупные, венчик белый. Бобы прямые или слабоизогнутые с тупой верхушкой, средние (длина – 5,5–6,5 см, ширина 0,9–1,2 см). Тип

боба – лущильный. Количество бобов на растении – 4–6 шт., максимальное 7, по 4–7 семян в бобе. Семена светло-розовые, розовые, округлые, гладкие, матовые. Рубчик светлый, 1,0–1,5 мм, слабо выражен. Масса 1000 семян – 185–215 г, диаметр семени – 6,0–8,0 мм (см. рисунок).

Сорт Казак – среднеранний, от всходов до хозяйственной спелости проходит 80 дней, что на 2 дня раньше стандартного сорта Аксайский усатый 5. Это позволяет снизить негативное влияние засухи, часто приходящей во время созревания гороха (табл. 1).

Таблица 1. Показатели сорта гороха посевного Казак (КСИ, среднее за 2020–2022 гг.)
Table 1. Indicators of the pea variety 'Kazak' (CVT, mean in 2020–2022)

Показатель	Казак	Аксайский усатый 5, стандарт
Период вегетации, дней	80	82
Высота растений, см	67,6	72,3
Высота прикрепления нижнего боба, см	52,7	61,0
Число продуктивных бобов, шт.	4,9	3,7
Число семян на растении, шт.	16,3	15,7
Масса семян с одного растения, г	3,4	2,6
Масса 1000 семян, г	206,7	177,2
Содержание белка, %	25,0	24,0
Устойчивость к полеганию, балл	5	4
Устойчивость к засухе, балл	5	5
Устойчивость к растрескиванию бобов, балл	5	5
Поражение корневыми гнилями, %	10,8	12,7

Высота растений сорта Казак, которая ниже, чем у стандарта, на 4,7 см и составляющая 67,6 см среднем за 3 года конкурсного сортоиспытания, позволяет стеблестою быть более устойчивым к полеганию. Высота прикрепления нижнего боба у сорта Казак составляет 52,7 см, что ниже стандарта на 8,3 см. Основное влияние на высоту растений и расположение нижнего боба у гороха оказывают показатели «число и длина междоузлий». Количество междоузлий до первого соцветия определяет наступление фазы цветения. Чем их меньше, тем раньше зацветает горох. У сорта Казак до первого соцветия 9–11 междоузлий, общее количество – 12–14.

Морфологические особенности строения растения, такие как усатый тип листа, невысокое растение с высоким расположением нижних бобов с низкой осыпаемостью созревших семян, связанной с высокой устойчивостью бобов к раскрываемости при созревании, определяют высокую технологичность возделывания сорта Казак.

Элементы продуктивности сорта Казак были выше, чем у стандартного сорта Аксайский усатый 5. Число продуктивных бобов у сорта Казак составило 4,9 шт./раст. (у стандарта – 3,7 шт./раст.), число семян на растении – 16,3 шт./раст. (у стандарта – 15,7 шт./раст.), масса 1000 семян – 200 г (у стандарта – 182 г), продуктивность одного растения – 3,4 г/раст. (у стандарта – 2,6 г/раст.).

У сорта Казак устойчивость к полеганию за годы конкурсного сортоиспытания составила 5 баллов, устойчивость к засухе – 5 баллов, устойчивость к растрескиванию бобов – 5 баллов, поражение корневыми гнилями – 10,8 %.

За годы изучения в конкурсном сортоиспытании (2020–2022 гг.) сорту Казак за счет более высоких показателей элементов структуры урожая удалось сформировать урожайность от 2,40 до 4,41 т/га, что в среднем выше стандарта (2,07–3,42 т/га) на 0,50 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность, содержание и сбор белка сорта гороха посевного Казак (КСИ, 2020–2022 гг.)
Table 2. Productivity, protein percentage and yield of the pea variety 'Kazak' (CTV, 2020–2022)

Показатели	Казак				Аксайский усатый 5, стандарт			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее
Содержание белка, %	25,2	26,1	23,8	25,0	23,9	25,1	23,0	24,0
Урожайность, т/га	2,40	4,41	2,85	3,22	2,07	3,42	2,68	2,72
Сбор белка, т/га	0,60	1,15	0,68	0,81	0,49	0,86	0,62	0,66

Хотелось бы отметить, что в 2023 г., в первый год изучения сорта Казак на Государственном сортоиспытании, когда сформировались наиболее благоприятные условия для роста и развития растений в южной зоне Ростовской области, на опытных полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» сорт показал урожайность в конкурсном сортоиспытании 4,80 т/га, тогда как стандарт

Аксайский усатый 5 – 4,34 т/га. Поэтому потенциал урожайности в 5,0 т/га – вполне реализуемый результат у нового сорта.

Содержание белка в семенах сорта гороха посевного Казак в среднем за годы изучения в конкурсном сортоиспытании составило 25,0 % с варьированием от 23,8 до 26,1 %. По сравнению со стандартным сортом данный показатель был выше на 1,0 %. Таким образом, сбор белка у сорта Казак был 0,15 т/га выше, чем у стандарта.

Расчет экономической эффективности возделывания сорта гороха посевного Казак представлен в таблице 3.

Таблица 3. Экономическая эффективность возделывания сорта гороха посевного Казак (КСИ, среднее за 2020–2022 гг.)
Table 3. Economic cultivation efficiency of the pea variety 'Kazak' (CTV, mean in 2020–2022)

Показатель	Казак	Аксайский усатый 5, стандарт
Урожайность семян, т/га	3,22	2,72
Прибавка урожая, т/га	0,50	–
Цена реализации, руб./т	22000	22000
Выручка от реализации, руб.	70840	59840
Производственные затраты на га, руб.	41530	40640
Прибыль, руб./га	29310	19200
Дополнительный чистый доход, руб./га	10110	–
Рентабельность, %	70,6	47,2

Исходя из оценки экономической эффективности, возделывание сорта гороха посевного Казак может принести дополнительно чистого дохода 10110 руб. с гектара, а его рентабельность составит 70,6 %, что на 23,4 % выше, чем у стандартного сорта Аксайский усатый 5.

По результатам проведения конкурсного сортоиспытания в 2020–2022 гг. линия гороха Г-1122 под названием Казак была передана на Государственное сортоиспытание РФ в 2023 году.

Сорт рекомендован для изучения в Северо-Кавказском, Центрально-Черноземном, Средневолжском регионах РФ.

Выводы. Сорт гороха Казак создан для получения более высоких урожаев семян на фоне негативного воздействия окружающей среды в виде часто повторяющихся засух в период налива и созревания семян. Сорт технологичен за счет невысокого стебля, усатых листьев, устойчивых к растрескиванию бобов. Использование в производстве сорта Казак позволит увеличить сбор белка с гектара на 20 и более процентов за счет высокой урожайности (до 5 т/га) и содержание белка в семенах (25,0 %).

Заложенные в сорт положительные качества позволяют с успехом выращивать его в рекомендованных регионах возделывания, а также использовать его в дальнейшей селекции в качестве исходного материала. Расчет экономической эффективности возделывания сорта показал выход дополнительного чистого дохода на 10110 руб. с гектара, который формируется за счет более высокой урожайности, а также технологичности сорта, снижения уборочных потерь семян.

Библиографический список

1. Андрианова Е. Н., Егоров И. А., Пронин В. В. Эффективность и физиологическая безопасность гороха в рационах кур-несушек (Gallus gallus L.) родительского стада на поздних сроках содержания // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 6. С. 1245–1256. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1245rus

2. Жогалева О. С., Стрельцова Л. Г. Высота растений и устойчивость к полеганию сортов гороха под влиянием хелатных микроудобрений // Аграрный вестник Урала. 2021. Т. 208, № 5. С. 31–39. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-31-39

3. Задорин А. М., Зеленов А. А., Кононова М. Е. Новый сорт гороха Эстафета // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. Т. 41, № 1. С. 51–55. DOI: 10.24412/2309-348X2022-1-51-55

4. Крылова Е. А., Хлесткина Е. К., Бурляева М. О., Вишнякова М. А. Детерминантный характер роста зернобобовых культур: роль в доместикации и селекции, генетический контроль // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141

5. Пономарева, С. В. Изучение исходного материала коллекции гороха в условиях Нижегородской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 63, № 2. С. 23–28. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.23-28

6. Соболева Г. В., Зеленов А. А., Задорин А. М., Кононова М. Е., Суворова Г. Н. Новый сорт гороха Столетник // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. Т. 42, № 2. С. 60–65. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-60-65

7. Филатова И. А., Нужная Н. А. Перспективный сорт гороха посевного Докучаевский // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. Т. 48, № 4. С. 162–166. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-162-166

8. 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

9. Parihar A. K., Hazra K. K. Lamichaney A., Dixit G. P., Singh D., Singh A. K., Singh N. P. Characterizing plant trait(s) for improved heat tolerance in field pea (Pisum sativum L.) under subtropical climate // International Journal of Biometeorology. 2022. Vol. 66, Iss. 6. P. 1267–1281. DOI: 10.1007/s00484-022-02275-5

References

1. Andrianova E. N., Egorov I. A., Pronin V. V. Effektivnost' i fiziologicheskaya bezopasnost' gorokha v ratsionakh kur-nesushek (Gallus gallus L.) roditel'skogo stada na pozdnikh srokakh soderzhaniya [Efficiency and physiological safety of peas in the diets of laying hens (Gallus gallus L.) of the parent flock in the late stages] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2020. T. 55, № 6. S. 1245–1256. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1245rus

2. Zhogaleva O. S., Strel'tsova L. G. Vysota rastenii i ustoichivost' k poleganiyu sortov gorokha pod vliyaniem khelatnykh mikroudobrenii [Plant height and lodging resistance of pea varieties under the effect of chelated microfertilizers] // Agrarnyi vestnik Urala. 2021. T. 208, № 5. S. 31–39. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-31-39

3. Zadorin A. M., Zelenov A. A., Kononova M. E. Novyi sort gorokha Estafeta [A new pea variety 'Estafeta'] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2022. T. 41, № 1. S. 51–55. DOI: 10.24412/2309-348X2022-1-51-55

4. Krylova E. A., Khlestkina E. K., Burlyaeva M. O., Vishnyakova M. A. Determinantnyi kharakter rosta zernobobovykh kul'tur: rol' v domestikatsii i selektsii, geneticheskii kontrol' [Determinant growth pattern of leguminous crops: role in domestication and breeding, genetic control] // Ekologicheskaya genetika. 2020. T. 18, № 1. S. 43–58. DOI: 10.17816/ecogen16141

5. Ponomareva, S. V. Izuchenie iskhodnogo materiala kollektsii gorokha v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti [Study of the initial material of the pea collection in the Nizhny Novgorod region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. T. 63, № 2. S. 23–28. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.23-28

6. Soboleva G. V., Zelenov A. A., Zadorin A. M., Kononova M. E., Suvorova G. N. Novyi sort gorokha Stoletnik [A new pea variety 'Stoletnik'] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2022. T. 42, № 2. S. 60–65. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-60-65

7. Filatova I. A., Nuzhnaya N. A. Perspektivnyi sort gorokha posevnogo Dokuchaevskii [A promising edible pea variety 'Dokuchaevsky'] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2023. T. 48, № 4. S. 162–166. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-162-166

8. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V. Vzaimodeistvie genotip—sreda i stabil'nost' kolichestvennykh priznakov u sadovogo gorokha (Pisum sativum L.) [Genotype-environment interactions and stability of quantitative traits in garden pea (Pisum sativum L.)] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 5. S. 965–980. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.965rus

9. Parihar A. K., Hazra K. K. Lamichaney A., Dixit G. P., Singh D., Singh A. K., Singh N. P. Characterizing plant trait(s) for improved heat tolerance in field pea (Pisum sativum L.) under subtropical climate // International Journal of Biometeorology. 2022. Vol. 66, Iss. 6. P. 1267–1281. DOI: 10.1007/s00484-022-02275-5

Поступила: 08.10.24; доработана после рецензирования: 20.11.24; принята к публикации: 20.11.24.

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. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Кравченко Н. С. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.11»324»:633.15:575.224.234:631.527.5 DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-74-80

СОЗДАНИЕ ГАПЛОИДНЫХ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОТДАЛЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ С КУКУРУЗОЙ

Н. В. Калинина, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;
В. Ю. Донцова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;
Н. Г. Черткова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;
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

Для ускорения процесса селекции и расширения генетического разнообразия озимой пшеницы новым исходным материалом могут служить гаплоидные линии. Одним из способов получения гаплоидов у растений пшеницы является отдаленная гибридизация при скрещивании с растениями кукурузы и последующей селективной элиминацией хромосом. Постгамную несовместимость родительских растений можно преодолеть культивированием зародышей в условиях in vitro. Цель исследования – получение гаплоидных растений озимой мягкой пшеницы с применением метода отдаленной гибридизации при скрещивании с кукурузой и селективной элиминацией хромосом. В данной работе представлены результаты гибридизации сортов и гибридов озимой пшеницы ([(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье], 1608/21, 1638/19, Станичная, 221/20, Вольница, Княгиня Ольга, Безостая 100, Алексеич) и линий-гаплопродюсеров кукурузы (СМ7, Кр 935/86, Кр 651) с использованием метода эмбриокультуры in vitro. В результате установлено, что завязываемость гибридных зерен в среднем составила 64 %. Наибольший процент зерновок с зародышами в комбинации Станичная х СМ7 (30 %), Безостая 100 х СМ7 (33%) и Вольница х СМ7 (36%). Максимальное число гаплоидных проростков образовалось у гибридных комбинаций Станичная х СМ7 (8 шт.), Безостая 100 х СМ7 и Вольница х СМ7 (7 и 7 шт.). Получено 37 гаплоидных растений по 13 комбинациям скрещиваний. Выживаемость растений после пересадки в почву составила 62 %. Далее планируется оценить полученный селекционный материал.

Ключевые слова: *озимая пшеница, кукуруза, гаплоиды, отдаленная гибридизация, элиминация хромосом.*

Для цитирования: *Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Черткова Н. Г., Марченко Д. М. Создание гаплоидных растений озимой пшеницы на основе метода отдаленной гибридизации с кукурузой // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 74–80. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-74-80.*

(cc) BY

DEVELOPMENT OF HAPLOID WINTER WHEAT BY THE METHOD OF DISTANT HYBRIDIZATION WITH MAIZE

N. V. Kalinina, researcher of the laboratory for cell breeding, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;
V. Yu. Dontsova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;
N. G. Chertkova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;
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
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

In order to improve the breeding process and expand the genetic diversity of winter wheat, haploid lines can serve as new initial material. One of the methods for developing haploids in wheat plants is distant hybridization when crossing with maize plants and subsequent selective elimination of chromosomes. Postgamic incompatibility of parent plants can be overcome by growing embryos in vitro. The purpose of the current study was to develop haploid winter common wheat plants using the method of distant hybridization when crossing with maize and selective elimination of chromosomes. The current paper has presented the hybridization results of winter wheat varieties and hybrids ([('Odesskaya 200' x 'Agrofak 100') x 'Razdolie'], '1608/21', '1638/19', 'Stanichnaya', '221/20', 'Volnitsa', 'Knyaginya Olga', 'Bezostaya 100', 'Alekseich') and haploproducer lines of maize (SM7, Kr 935/86, Kr 651) using the embryoculture method in vitro. As a result, there was established that the mean setting rate of hybrid grains was 64 %. The highest percentage of grains with embryos was in the combinations 'Stanichnaya x SM7' (30 %), 'Bezostaya 100 x SM7' (33 %) and 'Volnitsa x SM7' (36 %). The maximum number of haploid sprouts was formed in the hybrid combinations 'Stanichnaya x SM7' (8 pcs.), 'Bezostaya 100 x SM7' and 'Volnitsa x SM7' (7 and 7 pcs.). There were developed 37 haploid plants from 13 cross combinations. The survival rate of plants after putting into soil was 62 %. It is being planned to evaluate the developed breeding material.

Keywords: *winter wheat, maize, haploids, distant hybridization, chromosome elimination.*

Введение. Озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – это сельскохозяйственная культура, которая является экономически ценной и важной для потребления человеком во всем мире (Niu et al., 2014). Для ускорения процесса селекции и расширения генетического разнообразия озимой пшеницы новым исходным материалом могут служить гаплоидные линии. Одним из способов получения гаплоидов у растений пшеницы является отдаленная гибридизация при скрещивании с растениями кукурузы (*Zea mays* L.) и последующей селективной элиминацией хромосом (Бондаренко и др., 2024). Данный биотехнологический метод является технически простым и недорогостоящим, а также представляет особый интерес для селекционеров (Давоян и др., 2019). Отдаленные скрещивания пшеницы с гаплопродюсером – идеальный способ индуцировать женские гаметы, которые приводят к образованию гаплоидных зерновок (Zhang et al., 2014). Главной причиной сложности получения гибридов при отдаленных скрещиваниях является постгамная несовместимость родительских растений (Петраш и Степочкин, 2023). При использовании такого метода наблюдают нарушение формирования эндосперма, что приводит к гибели зародыша, поэтому применяют культивирование зародышей в условиях *in vitro* (Жамбакин и др., 2006; Петраш и Степочкин, 2023).

В настоящее время для получения гаплоидов пшеницы чаще используют кукурузу из-за меньшей чувствительности пыльцы кукурузы к генам-ингибиторам скрещиваемости, что подтверждается результатами многих исследователей (Дьячук и др., 2019; Chaudhary et al., 2002). Т. И. Дьячук и ее коллеги при цитологических исследованиях выяснили, что пыльца кукурузы успешно прорастает на рыльце пшеницы, достигая зародышевого мешка с последующим оплодотворением и формированием гаплоидного зародыша пшеницы (2n = 21) (Дьячук и др., 2019). Уровень образования гаплоидных зерновок, по данным разных авторов, может составлять от 30 до 75 % (Давоян и др., 2019). Процент завязываемости гаплоидных зерновок зависит от родительских генотипов, включенных в скрещивания.

Цель исследования – получение гаплоидных растений озимой мягкой пшеницы с применением метода отдаленной гибридизации при скрещивании с кукурузой и селективной элиминацией хромосом.

Материал и методы исследований. В качестве материнских форм использовали 4 образца озимой мягкой пшеницы, выращенных в теплице (Вольница, Княгиня Ольга, Безостая 100, Алексеич) и 5 образцов – в полевых условиях отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы (интенсивного типа – [(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье], 1608/21, 1638/19; полуинтенсивного типа – Станичная, 221/20). В качестве отцовских форм в скрещивания включили 3 линии кукурузы селекции НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, любезно предоставленные его сотрудниками (СМ7, Кр 935/86, Кр 651).

Растения пшеницы и кукурузы выращивали в вегетационных сосудах в условиях теплицы. Селекционные образцы озимой пшеницы высевали в рулоны (09.01.2024 г.) для проращивания и прохождения яровизации (50 дней) в фазе всходов. Затем растения пшеницы высаживали рассадой в вегетационные сосуды с почвой в условиях теплицы (29.02.2024 г.) (рис. 1, *а*). Для совмещения сроков гибридизации растения кукурузы были высеяны в сосуды с почвой в три срока (28.12.2024 г.; 27.02.2024 г.; 25.03.2024 г.) (рис. 1, *б*).

а б в

Рис. 1. Совмещение фенологических фаз озимой пшеницы и гаплопродюсеров:
а – растения пшеницы, высаженные рассадой в теплице; *б* – кукуруза, высеянная в разные сроки;
в – опыленные растения пшеницы
Fig. 1. Combination of phenological phases of winter wheat and haploproducers:
a – wheat plants planted as sprouts in a greenhouse, *b* – maize sown at different times;
c – pollinated wheat plants

Гибридизацию в условиях теплицы проводили в начале апреля (08.04–15.04) (рис. 1, *в*), а в полевых условиях – в середине мая. Цветение метелок кукурузы длилось с 25.03–18.05. Кастрацию колосьев пшеницы проводили ручным методом путем удаления пыльников

пинцетом. Кастрированные колосья помещали под изолятор, на котором указывали комбинацию скрещивания, дату и сотрудника, проводившего кастрацию. На вторые–четвертые сутки после кастрации производили опыление цветков пшеницы пыльцой кукурузы. Использовали свежесобранную пыльцу и пыльцу после кратковременного хранения в холодильнике по методике К. Ж. Жамбакина и др. (2006). Пыльцу кукурузы наносили кисточкой на кастрированные колосья два дня подряд. Через 2–3 дня после последнего опыления колосья опрыскивали водным раствором 2,4-Д в концентрации 100 мг/л для улучшения завязываемости. На 15–17-е сутки после последнего опыления пшеничные побеги с колосьями срезали, выделяли из них зерновки. Зерновки подвергали двухэтапной стерилизации (спирт 96%-й – 3 мин, гипохлорит натрия 5%-й –15 мин). Далее в асептических условиях ламинарного бокса извлекали из зерновок зародыши и инокулировали их на твердую питательную среду Р-8 по методике С. Ф. Лукьянюк, С. А. Игнатовой (1980). Инокулирование зародышей на горизонтальную питательную среду проводили щитком вниз, по 5 штук в пробирку. Инкубирование осуществляли в термостате при полной темноте и температуре 25 °С до появления каллусов или гаплоидных проростков. Для дальнейшего развития полученные проростки переносили в ростовую камеру на 16-часовой фотопериод с освещенностью 3 тыс. люкс и температурой 25 °С. Хорошо развитые проростки *in vitro* помещали на яровизацию в течение 50 дней при температуре 4 °С. После холодовой обработки гаплоидные проростки пересаживали в вегетационные сосуды с почвой, выращивали в климатической камере при температуре 21/18 °С и освещенности 16/8 ч. Результаты опыта обрабатывали с помощью программ пакета Excel.

Результаты и их обсуждение. В 2024 г. лабораторией клеточной селекции и отделом селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы были проведены отдаленные скрещивания пшеницы пыльцой кукурузы в тепличных и полевых условиях. В поле проведена гибридизация по пяти комбинациям скрещиваний, из которых две комбинации (образцы пшеницы Станичная и 221/20) с образцом кукурузы СМ7, три комбинации [(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье], 1608/21 и 1638/19) – с образцом кукурузы Кр935/86. Были получены гибридные зерновки с разной степенью развития и выполненности эндосперма (рис. 2).

а б в

Рис. 2. Зерновки отдаленных гибридов:
а, *б* – зерновки пшеницы разной степени развития; *в* – гаплоидные зародыши на питательной среде
Fig. 2. Caryopses of distant hybrids:
a, *b* – wheat caryopses of different stages of development; *c* – haploid embryos on a nutrient medium

В нашем исследовании во время гибридизации в полевых условиях опылили 29 колосьев и 882 цветка. Общее количество завязавшихся гибридных зерновок составило 794 шт. (90 % завязываемость от количества опыленных цветков), из них с зародышем 18,4 % (146 шт.) (табл. 1).

Таблица 1. Результаты гибридизации образцов озимой пшеницы и кукурузы, 2024 г.
Table 1. Hybridization of winter wheat and maize samples, 2024

№ п/п	Гибридная комбинация	Количество колосьев, шт.	Среднее количество цветков, опыленных на колос, шт.	Количество опыленных цветков, всего, шт.	Количество гибридных зерновок, всего		% зерновок с зародышами
					шт.	%	
Полевые условия							
1	Станичная х СМ7	6	24	144	135	94	30
2	221/20 х СМ7	5	23,6	118	88	74	13
3	1608/21 х Кр 935/86	6	33,6	202	188	93	18
4	1638/19 х Кр 935/86	6	29,6	178	162	91	10

Продолжение табл. 1

№ п/п	Гибридная комбинация	Количество колосьев, шт.	Среднее количество цветков, опыленных на колос, шт.	Количество опыленных цветков, всего, шт.	Количество гибридных зерновок, всего		% зерновок с зародышами
					шт.	%	
5	[(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье] х Кр 935/86	6	40	240	221	92	16
Сумма		29	150,8	882	794	444	–
Среднее		5,8	30,2	176,4	158,8	88,8	18,4
Коэффициент вариации		6,9	22,8	27,1	31,9	9,3	41,8
Стандартное отклонение		0,4	6,9	47,9	50,8	8,3	7,7
Тепличные условия							
1	Вольница х СМ7	14	17,8	250	86	34	36
2	Безостая 100 х СМ7	7	19,8	139	99	71	33
3	Княгиня Ольга х СМ7	15	23,4	352	280	79	7
4	Алексеич х Кр 935/86	35	22,3	780	460	56	6
5	Безостая 100 х Кр 935/86	8	22,7	182	103	56	27
6	Княгиня Ольга х Кр 935/86	15	22,8	342	228	66	9
7	Вольница х Кр 935/86	13	20,5	266	140	53	17
8	Безостая 100 х Кр 651	7	22,6	158	121	76	24
Сумма		127	190,8	2715	1517	491	–
Среднее		14,1	21,2	301,7	189,6	61,4	14,2
Коэффициент вариации		69,5	9,4	73,6	72,5	23,9	90,1
Стандартное отклонение		9,8	2,0	222,1	137,6	14,7	12,8

В условиях теплицы провели скрещивания по восьми комбинациям, из которых три (Вольница, Безостая 100 и Княгиня Ольга) – с СМ7, четыре (Алексеич, Безостая 100, Княгиня Ольга и Вольница) – с Кр935/86, одна (Безостая 100) – с Кр651. Общее количество опыленных колосьев составило 127 шт., а число цветков – 2715 шт. Всего получили 1517 зерновок (56 % от опыленных цветков), из них с зародышем 14,2 % (216 шт.). Наилучшие результаты по отдаленной гибридизации получены в полевых скрещиваниях в комбинации Станичная х СМ7 (41 зерновка, 30 % от завязавшихся зерен) и 1608/21 х Кр 935/86 (40 зерновок, 18 %); в тепличных скрещиваниях – Вольница х СМ7 (31 зерновка, 36 % от завязавшихся зерен), Безостая 100 х СМ7 (33 зерновки, 33 %) и Безостая 100 х Кр935/86 (28 зерновок, 27 %).

Результаты наших исследований согласуются с данными других исследователей. В работе H. Sharma и др. получено 1446 гибридных зерновок и установлено, что завязываемость в среднем составила 87 %, из них с зародышем 16 % (231 зерновка) (Sharma et al., 2002). X. M. Chen в своих исследованиях установил, что процент образования гаплоидных зародышей варьировал от 18,5 до 29,1 % (Chen, 1998). По данным разных авторов, уровень образования гаплоидных зародышей от скрещиваний пшеницы с кукурузой может составлять от 28 до 75 %, но при этом выход гаплоидных растений остается невысоким (Inagaki, 2003).

В процессе инкубирования зародышей на питательной среде проявлялись разные типы морфогенеза: каллусы, каллусы с ростком, каллусы с корнем и проростки (рис. 3), что наблюдали и в нашем предыдущем исследовании. Разнообразие морфогенного ответа гибридных комбинаций связано с разной степенью дифференциации зародышей и неоднородностью каллусных клеток (Калинина и др., 2023).

а *б* *в* *г*

Рис. 3. Типы морфогенеза в эмбриокультуре *in vitro*:
а – каллус; *б* – каллус с ростком; *в* – каллус с корнем; *г* – зеленые проростки
Fig. 3. Types of morphogenesis in embryo culture *in vitro*:
a – callus; *b* – callus with a sprout; *c* – callus with a root; *d* – green sprouts

Все гибридные зародыши сформировали гаплоидные проростки, при этом они значительно различались по морфогенному ответу. Количество образовавшихся каллусов с корнем варьировало от 2 до 12 шт. (в среднем 6,2 шт.) и каллусов с ростком – 1–6 шт. (в среднем 2,4 шт.). Максимальное количество гаплоидных проростков (8 шт.) образовалось у гибридной комбинации Станичная х СМ7, полученной в полевых условиях, что составило 19 % от количества культивируемых зародышей. Суммарное количество гаплоидных проростков составило 13 шт., 8,2 % от количества культивируемых зародышей. Наблюдали большое количество неотзывчивых на индукцию гаплоидных зародышей (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность получения гаплоидов озимой пшеницы при отдаленных скрещиваниях, 2024 г.
Table 2. Efficiency of developing winter wheat haploids in distant hybridization, 2024

№ п/п	Гибридная комбинация	Количество культивируемых гаплоидных зародышей, шт.	Количество гаплоидных проростков		Количество каллусов с корнем, шт.	Количество каллусов с ростком, шт.	Количество каллусов, шт.	Количество не проросших зародышей, шт.
			шт.	%				
Полевые условия								
1	Станичная х СМ7	41	8	19	12	1	10	10
2	221/20 х СМ7	12	1	8	3	1	2	5
3	[(Одесская 200 х Агрофак 100) х Раздолье] х Кр 935/86	36	1	3	10	2	12	11
4	1608/21 х Кр 935/86	40	2	5	11	1	10	16
5	1638/19 х Кр 935/86	17	1	6	4	2	6	4
Сумма		146	13	41	40	7	40	46
Среднее		29,2	2,6	8,2	8	1,4	8	9,2
Коэффициент вариации		46,9	80,8	76,8	52,3	39,1	50,0	52,9
Стандартное отклонение		13,7	2,1	6,3	4,2	0,5	4,0	4,9
Тепличные условия								
1	Вольница х СМ7	31	7	22	9	2	2	11
2	Безостая 100 х СМ7	33	7	24	6	3	7	9
3	Княгиня Ольга х СМ7	20	1	5	5	3	5	6
4	Алексеич х Кр 935/86	30	3	10	4	2	10	11
5	Безостая 100 х Кр 935/86	28	1	4	2	2	8	15
6	Княгиня Ольга х Кр 935/86	21	1	5	7	4	4	5
7	Безостая 100 х Кр 651	29	3	10	5	6	5	10
8	Вольница х Кр 935/86	24	1	4	3	2	10	8
Сумма		216	24	84	41	24	51	75
Среднее		27	3	10,5	5,1	3,0	6,4	9,4
Коэффициент вариации		17,8	83,3	77,1	43,1	46,7	45,3	34,0
Стандартное отклонение		4,8	2,5	8,1	2,2	1,4	2,9	3,2

При проведении гибридизации в теплице выделились две комбинации: Безостая 100 х СМ7 и Вольница х СМ7, сформировавшие максимальное число гаплоидных проростков – 7 шт. (24 %) и 7 шт. (22%) соответственно. Процент образования гаплоидных проростков при скрещивании озимой мягкой пшеницы с кукурузой в среднем составил 8,2–10,5 %. Таким образом, из 362 культивируемых гаплоидных зародышей было получено 37 гаплоидных проростков (10 %).

Как следует из результатов, полученных в настоящей работе, между гибридными комбинациями выражены различия по проявлению признаков морфогенеза в эмбриокультуре. Это согласуется с ранее полученными данными (Sharma et al., 2002; Inagaki, 2003) о низкой способности к формированию гаплоидных проростков. Так, в исследовании H. Sharma и др. оценена возможность получения гаплоидов при гибридизации мягкой краснозерной озимой пшеницы с кукурузой. Установлено, что культивируемые зародыши дифференцировались в каллус с корнем (25 %), каллус с ростком (41 %) и гаплоидные проростки с нормально развитыми корнями и побегами (36 %) (Sharma et al., 2002). M. N. Inagaki в своей работе установил, что количество гаплоидных проростков пшеницы варьировало от 56 до 74 %, в среднем 65 % от количества гаплоидных зерновок (Inagaki, 2003).

Полученные в нашем исследовании гаплоидные проростки после яровизации высаживали в сосуды с почвой. Гаплоидные растения выращивали в климатической камере (рис. 4).

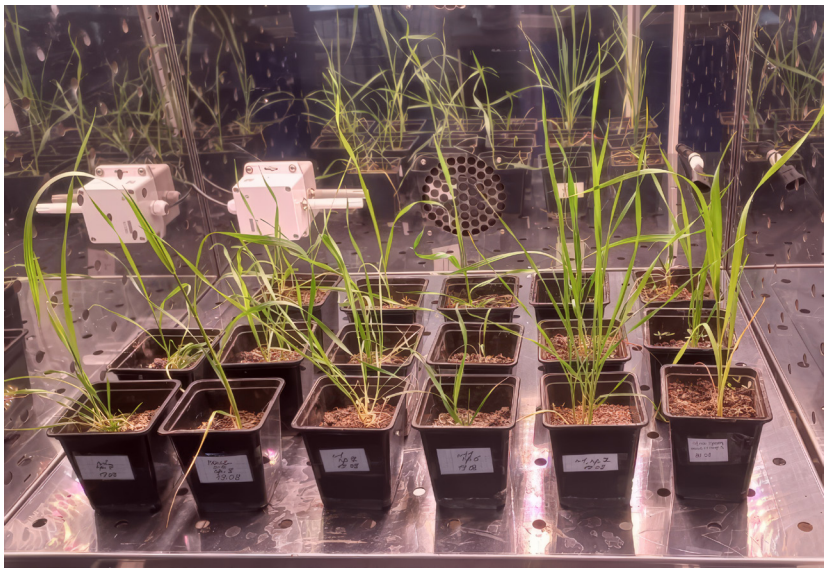


Рис. 4. Гаплоидные растения в условиях климатической камеры
Fig. 4. Haploid plants in a climate chamber

Выживаемость растений после пересадки составила 62 %. Далее планируется провести оценку плоидности полученных растений.

Выводы. Проведенная отдаленная гибридизация, в которую были вовлечены озимая пшеница и кукуруза, показала, что завязываемость гибридных зерен в среднем составила 64 %. Наибольший процент зерновок с зародышами – в комбинациях Станичная х СМ7 (30 %), Безостая 100 х СМ7 (33 %) и Вольница х СМ7 (36 %). Максимальное число гаплоидных проростков образовалось у гибридных комбинаций Станичная х СМ7 (8 шт.), Безостая 100 х СМ7 и Вольница х СМ7 (7 и 7 шт.). В результате исследования получили 37 гаплоидных растений по 13 комбинациям скрещиваний. Выживаемость растений после пересадки в почву составила 62 %.

Библиографический список

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

2. Давоян Р. О., Давоян Э. Р., Бебякина И. В., Зинченко А. Н., Миков Д. С., Зубанова Ю. С., Болдаков Д. М. Изучение эффективности гаплопродюсеров кукурузы для стимулирования образования гаплоидных зародышей мягкой пшеницы // Рисоводство. 2019. № 4(45). С. 12–18.

3. Дьячук Т. И., Акинина В. Н., Хомякова О. В., Калашникова Э. В. Отдаленная гибридизация как метод получения гаплоидных растений у злаков // Биотехнология и селекция растений. 2019. Т. 2, № 2. С. 44–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-44-52

4. Жамбакин К.Ж., Терлецкая Н.В., Бердина М.А., Мухитдинова З.Р., Исмагулова Н.К., Искакова А.Б. Получение гаплоидов ячменя и пшеницы с использованием гаплопродюсеров // Биотехнология. Теория и практика. 2006. № 3. С. 27–33.

5. Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Черткова Н. Г., Марченко Д. М. Получение растений-регенерантов межвидовых гибридов пшеницы с использованием незрелых зародышей в качестве эксплантов // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 52–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-52-58

6. Петраш Н. В., Степочкин П. И. Создание фиолетовозерных гибридов в отдаленных скрещиваниях тритикале, мягкой пшеницы и полбы методом эмбриокультуры in vitro // Биотехнология растений. 2023. № 9(4). С. 218–223. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-25

7. Chen, X. M. Effect of different crossing techniques on haploid production in wheat x maize crosses 8 // Acta Agron Sinica. 1998. Vol. 24, P. 743–746.

8. Chaudhary H. K., Singh S., Sethi G. S. Interactive influence of wheat and maize genotypes on haploid induction in winter × spring wheat hybrids // Journal of Genetics & Breeding (Italy). 2002. Vol. 56. P. 259–266.

9. Inagaki, M. N. Doubled haploid production in wheat through wide hybridization // Doubled Haploid Production in Crop Plants. A Manual / M. Maluszynski, K.J. Kasha, B. P. Forster, I. Szarejko. New York: Springer Science+Business Media, 2003. P. 53–58. DOI: 10.1007/978-94-017-1293-4

10. Niu Z., Jlang A., AbuHammad W., Oladzadabbasabadi A., Xu S. S., Mergoum M., Elias E. M. Review of doubled haploid production in durum and common wheat through wheat × maize hybridization // Plant Breeding. 2014. Vol. 133(3). P. 313–320. DOI:10.1111/pbr.1216

11. Sharma H., Yang Y., Ohm H. An assessment of doubled haploid production in soft red winter wheat by wheat x corn wide crosses // Cereal Research Communications. 2002. Vol. 30. P. 269–275.

12. Zhang W., Wang K., Lin Z. S., Du L. P., Ma H. L., Xiao L. L., Ye X. G. Production and identification of haploid dwarf male sterile wheat plants induced by corn inducer // Botanical Studies. 2014. Vol. 55(1), № 26. P. 1–8. DOI: 10.1186/1999-3110-55-26

References

1. Bondarenko E. V., Lapochkina I. F., Pishenin I. A., Makarova I. Yu., Yashina N. A., Smirnova A. S., Kazakova E. A., Blinova Ya. A., Prazyan A. A., Volkova P. Yu. Vliyanie gamma-oblucheniya zhenskogo gametofita v kastrirovannykh rasteniyakh yarovoi myagkoi pshenitsy na razrastanie zavyazei pri skreshchivanii s kukuruzoi [Effect of gamma irradiation of female gametophyte in castrated spring common wheat plants on ovary growth when crossed with maize] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 4. S. 50–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-50-59
2. Davoyan R. O., Davoyan E. R., Bebyakina I. V., Zinchenko A. N., Mikov D. S., Zubanova Yu. S., Boldakov D. M. Izuchenie effektivnosti gaploprodyuserov kukuruzy dlya stimulirovaniya obrazovaniya gaploidnykh zarodyshei myagkoi pshenitsy [Study of the effectiveness of maize haploproducers to stimulate the formation of haploid embryos of common wheat] // Risovodstvo. 2019. № 4(45). S. 12–18.
3. D'yachuk T. I., Akinina V. N., Khomyakova O. V., Kalashnikova E. V. Otdalennaya gibridizatsiya kak metod polucheniya gaploidnykh rastenii u zlakov [Distant hybridization as a method for developing haploid plants in cereals] // Biotekhnologiya i selektsiya rastenii. 2019. T. 2, № 2. S. 44–52. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-2-44-52
4. Zhambakin K. Zh., Terletskaya N. V., Berdina M. A., Mukhitdinova Z. R., Ismagulova N. K., Iskakova A. B. Polucheniet gaploidov yachmenya i pshenitsy s ispol'zovaniem gaploprodyuserov [Developing barley and wheat haploids using haploproducers] // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. 2006. № 3. S. 27–33.
5. Kalinina N. V., Dontsova V. Yu., Chertkova N. G., Marchenko D. M. Poluchenie rastenii-regenerantov mezhvidovykh gibridov pshenitsy s ispol'zovaniem nezrelykh zarodyshei v kachestve eksplantov [Developing regenerant plants of interspecific wheat hybrids using immature embryos as explants] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 52–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-52-58
6. Petrash N. V., Stepochkin P. I. Sozdanie fioletovozernykh gibridov v otdalennykh skreshchivaniyakh tritikale, myagkoi pshenitsy i polby metodom embriokul'tury in vitro [Development of purple-grained hybrids in distant hybridization of triticale, common wheat and spelt using the embryo culture method in vitro] // Biotekhnologiya rastenii. 2023. № 9(4). S. 218–223. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-25
7. Chen, X. M. Effect of different crossing techniques on haploid production in wheat x maize crosses 8 // Acta Agron Sinica. 1998. Vol. 24, P. 743–746.
8. Chaudhary H. K., Singh S., Sethi G. S. Interactive influence of wheat and maize genotypes on haploid induction in winter × spring wheat hybrids // Journal of Genetics & Breeding (Italy). 2002. Vol. 56. P. 259–266.
9. Inagaki, M. N. Doubled haploid production in wheat through wide hybridization // Doubled Haploid Production in Crop Plants. A Manual / M. Maluszynski, K.J. Kasha, B. P. Forster, I. Szarejko. New York: Springer Science+Business Media, 2003. P. 53–58. DOI: 10.1007/978-94-017-1293-4
10. Niu Z., Jlang A., AbuHammad W., Oladzadabbasabadi A., Xu S. S., Mergoum M., Elias E. M. Review of doubled haploid production in durum and common wheat through wheat × maize hybridization // Plant Breeding. 2014. Vol. 133(3). P. 313–320. DOI:10.1111/pbr.1216
11. Sharma H., Yang Y., Ohm H. An assessment of doubled haploid production in soft red winter wheat by wheat x corn wide crosses // Cereal Research Communications. 2002. Vol. 30. P. 269–275.
12. Zhang W., Wang K., Lin Z. S., Du L. P., Ma H. L., Xiao L. L., Ye X. G. Production and identification of haploid dwarf male sterile wheat plants induced by corn inducer // Botanical Studies. 2014. Vol. 55(1), № 26. P. 1–8. DOI: 10.1186/1999-3110-55-26

Поступила: 21.11.24; доработана после рецензирования: 26.11.24; принята к публикации: 29.11.24.

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; Донцова В. Ю., Черткова Н. Г. – 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.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 53.06:633.11:664.6+664.641.12 **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-81-86**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ХЛЕБОПЕЧЕНИИ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОГО ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Р. Т. Тимакова, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии и инжиниринга, trt64@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4777-1465;
Т. И. Гулова, старший преподаватель кафедры биотехнологии и инжиниринга, gulovat@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-1706-1153
ФГБОУ ВО«Уральский государственный экономический университет»,
620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, д. 62/45; e-mail: trt64@mail.ru

В исследовательской литературе изучается влияние разных видов излучения на жизнеспособность и безопасность зерновых культур. При этом выявлен выборочный подход к проблематике использования излучения и других абиотических факторов исходя из поставленных целей для использования в растениеводстве или в пищевой промышленности, что определило комплексность представленной работы в оценке влияния низких доз γ-излучения на технологические свойства зерна, муки и хлеба с учетом многофакторности: разные дозы γ-излучения, контролируемое проращивание, цельный помол зерна. Первичный объект исследования – зерна мягкой яровой пшеницы Ирень. Зерна пшеницы облучали в ООО «РЦОТ «Эра» на установке РТУ-3000. Проращивание осуществляли в контролируемых условиях. Оценено влияние увеличения дозы излучения до 20 Гр на усиление кинетики прорастания зерен и на увеличение стекловидности зерна. Выяснено, что биоактивированное излучением пророщенное зерно пшеницы, отличаемое повышенной питательной ценностью, возможно использовать как сырье для производства муки и в хлебопечении. Полученная мука отличается низкой влажностью – 9,1–9,2 %, что способствует ее лучшей хранимоспособности. Охарактеризованы закономерности формирования равномерной пористости, плотного и эластичного мякиша хлеба в образцах цельносмолотого пшеничного хлеба из зерна, обработанного низкими дозами излучения за счет бóльшего количества клейковины (36,0–36,3 %) и ее хорошего качества, упруго-пластических свойств теста. Обнаружено, что в образцах хлеба из пророщенного зерна за счет высокого качества клейковины (75–80 ед. ИДК) при более низких показателях пористости по сравнению с хлебом из непророщенного зерна органолептические показатели хлеба полностью соответствуют установленным требованиям для обойного пшеничного хлеба. Результаты данного этапа исследования показывали целесообразность применения низких доз излучения, проращивания и использования цельносмолотой муки для формирования потребительской ценности пшеничного хлеба.

Ключевые слова. *зерно пшеницы, Ирень, γ-излучение, пророщенное зерно, мука, хлеб.*

Для цитирования*: Тимакова Р. Т., Гулова Т. И. Исследование возможности применения в хлебопечении муки из пророщенного после обработки излучением зерна пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 81–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-81-86.*

(cc) BY

STUDY OF THE POSSIBLE USE OF FLOUR OBTAINED FROM WHEAT GRAIN SPROUTED AFTER RADIATION TREATMENT IN BREAD BAKING

R. T. Timakova, Doctor of Technical Sciences, docent, Professor of the Department of Biotechnology and Engineering, trt64@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4777-1465;
T. I. Gulova, Senior Lecturer at the Department of Biotechnology and Engineering, gulovat@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-1706-1153
FSBEI HE “Ural State University of Economics”,
620144, Ekaterinburg, 8-th of March/NarodnayaVolya Str., 62/45; e-mail:trt64@mail.ru

The research literature studies the effect of different types of radiation on the viability and safety of grain crops. At the same time, there has been found a selective approach to the problem of using radiation and other abiotic factors, based on the goals in plant growing or in the food industry, which determined the complexity of the current work in estimating the effect of low doses of γ-radiation on the technological properties of grain, flour and bread, taking into account different doses of γ-radiation, controlled germination, whole grain milling. The primary object of the study was the grain of spring common wheat variety ‘Iren’. The wheat grains were irradiated at the “Era” RCOHS” using the RTU-3000 unit. Germination was carried out under controlled conditions. There has been estimated the effect of increasing the radiation dose to 20 Gy on enhancing the kinetics of grain germination and increasing the hardiness of the grain. There has been found that sprouted wheat grain bioactivated by radiation, which has improved nutritional value, can be used as a raw material for flour production and in bread baking. The obtained flour is of low moisture 9.1–9.2 %, which provides its better storage. There have been characterized regularities of uniform porosity, dense and elastic crumb of bread in whole-ground wheat bread samples baked from grain treated with low doses of radiation due to the greater amount of gluten (36.0–36.3 %) and its good quality, elastic properties of the dough. There has been found that in bread samples made from sprouted grain, due to the high quality of gluten (75–80 units of IDK) with lower porosity values compared to bread made from non-sprouted grain, the organoleptic properties of the bread

fully comply with the established requirements for whole wheat bread. The results of the current study have shown the feasibility of using low doses of radiation, germination, and the use of whole-ground flour to form the consumer value of wheat bread.

Keywords: *wheat grain, Iren, γ-radiation, sprouted grain, flour, bread.*

Введение. Качество хлеба определяется видом и сортом зерновых культур и используемыми технологическим способами и приемами. Производство муки из цельносмолотого зерна обеспечивает наличие в муке отрубей как ценного источника целлюлозы (клетчатки) и некрахмальных полисахаридов (пищевых волокон) и синтеза группы витаминов: Е и группы В (B_1, B_2, B_3, B_6).

Радиационные технологии показывают высокую эффективность в уничтожении вредителей хлебных злаков на разных стадиях их онтогонеза (яйца, личинки, куколки) – до 100 % гибели в зависимости от дозы излучения (Санжарова и Лой, 2022). В процессе хранения зерна при нарушении условий хранения возможно распространение плесневелых грибов. Обработка γ-излучением хранившегося в течение 4-х лет зерна пшеницыпри дозах 372–726 Гр подавила развитие грибов хранения Aspergillussp. и Penicilliumsp., соответствующие результаты были получены при обработке потоком ускоренных электронов с энергией электронов 10 МэВ (98–99 %) (Яицких и Степаненко, 2022). Наряду с этим γ-излучение применяется в селекции новых сортов для повышения их урожайности (Husseinetal., 2021). Были проведены комплексные исследования по влиянию разных доз γ-излучения на семена различных сортов зерновых культур (Казакова и др., 2020). Выявлено положительное воздействие низких доз γ-излучения (50 Гр, 100 Гр) на пищевую ценность проростков пшеницы в результате увеличения общего содержания белка и нуклеиновых кислот (Минасбекян и Авагян, 2023).

Обнаружили влияние малых и низких доз излучения на стимуляционный рост зерновых культур и повышение их урожайности (Shabanietal., 2022). При этом выход из метаболического покоя зерна в результате биоактивации (запуска) ферментативных процессов и под воздействием фитогормонов происходит на этапе микрофенологической фазы (МФФ) контролируемого проращивания – проклевки и формирования проростков и приводит к аддитивным изменениям в результате распада макромолекул (Тимакова и Ильюхин, 2023). Отмечено увеличение способности к прорастанию зерна и изменение нутриентного состава с увеличением содержания белков и жиров и уменьшения крахмала за счет расщепления до мальтозы и глюкозы и повышение биологической ценности зерна. Для обеспечения качества готового продукта (хлеба) важное значение имеет доза облучения используемой в хлебопечении муки.

Были установлены оптимальные дозы γ-излучения для цельнозерновой пшеничной муки – 0,2 кГр, 0,5 кГр и 2 кГр, обеспечивающие сохранность муки до 6 мес., и соответствие органолептических показателей кексов из такой муки. Увеличение дозы до 5 кГр ухудшает качество кексов (Ansarietal., 2020). Сопоставимые результаты получены при исследовании влияния доз, равных 0,25 кГр, 0,5 кГр и 1 кГр, которые находятся на уровне значимости ($p \leq 0,05$). При этом минимальные поверхностные трещины на гранулах пшеничной муки, подвергнутых облучению в меньшей дозе, указали на то, что эта доза облучения может быть рекомендована для улучшения качества хлебобулочных изделий (Manupriyaetal., 2020). Для обеспечения микробиологической безопасностидля муки применяли высокие дозы излучения – от 11,88 кГр и с дву- и четырехкратным увеличением дозы. При этом ухудшались технологические свойства теста и хлеба (Романов и др., 2022).

Обзор исследовательских работ современных ученых в области использования облучательных технологий выявил необходимость проведения комплексных исследований с использованием зерна определенного сорта пшеницы и симбиотического воздействия низких доз излучения и последующего проращивания, обеспечивающих стимуляционное воздействие на скрытые резервы самого зерна как отдельной системы и повышение его пищевой ценности. Цель эксперимента – провести оценку качествахлеба из цельносмолотых пророщенных после обработки низкими дозами γ-излучения (10 Гр, 20 Гр) зерен мягкой яровой пшеницы Ирень.

Материалы и методы исследований. Для исследования взяли распространенный в восьми регионах России, в том числе в Уральском регионе, раннеспелый сорт мягкой яровой пшеницы Ирень (код сорта – идентификатор ® 8355314, оригинатор – ООО НПК «АгроАльянс») Triticum aestivum L. Выбор сорта Ирень определен его распространенностью и районированностью на Урале. Зерна удлиненной формы со средним хохолком, со средним вегетационным периодом 86–88 дней, масса 1000 семян – 38,4±1,3 г. Для активации зерна урожая 2021 г. провели обработку низкими дозами γ-излучения (10 Гр и 20 Гр) в ООО «РЦОТ «Эра» на установке РТУ-3000. Задача состояла в проведении исследований в процессе хранения зерна, период исследований – 2022–2024 годы. Проращивание осуществляли при температуре воздуха 20 °С, смешанное освещение. Расчет энергии прорастания осуществляли по ГОСТ 10968-88, к пророщенному зерну относится зерно с корешками или ростками длиной 1–2 мм (Тимакова и Ильюхин, 2023). Зерно измельчали до размера частиц 300–400 мкм. По данным гравиметрического анализа, 96 % частиц муки размером 300–400 мкм.

Объекты исследования – зерно, цельносмолотая мука, хлеб. Сформировали группы: контрольная (образцы зерна, не обработанные γ-излучением и не пророщенные) и опытные группы: 1-я группа – образцы из пророщенного зерна, 2-я и 4-я – образцы из зерна, обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр, 3-я и 5-я – образцы из пророщенного зерна, ранее обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр. Выбор доз излучения определен ранее проводимыми исследованиями (Тимакова и Ильюхин, 2023) и очередным этапом в цикле научных исследований.

Рецептура хлеба на жидкой опаре включила муку цельносмолотую – 200 г, дрожжи хлебопекарные прессованные – 3 г, соль поваренную – 2,6 г. При замесе теста для получения однородной консистенции количество добавленной воды незначительного отличалось: в контрольной группе – 142 мл, в опытных группах: 1-я –138 мл, 2-я и 4-я – 140 мл, 3-я и 5-я – 139 мл. Опарный способ выпечки хлеба и стадия обминки влияют на мягкость и однородность мякиша. Лабораторную выпечку хлеба проводили согласно ГОСТ 27669-88. Исследования проводили по стандартизированным методикам в пятикратной повторности. Результаты обработаны методом вариационной статистики.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследований была проведена оценка эффективности радиостимуляции низкими дозами γ-излучения зерен мягкой яровой пшеницы. Первые зерна проклюнулись через 16–18 ч с прорыванием оболочки семени корешками и последующим появлением колептиля. Энергия прорастания для образцов 1-й группы составила 81 %, для образцов 3-й и 5-й групп, обработанных дозами излучения 10 Гр и 20 Гр, – 96 и 93 % соответственно.

На втором этапе исследовали образцы зерен пшеницы, муки и хлеба (см. таблицу).

Технологические свойства и показатели качества объектов исследования из мягкой яровой пшеницы Ирень (2022–2024 гг.)
Technological properties and quality indicators of the study objects from spring common wheat 'Iren' (2022–2024)

Показатель (метод определения)	Нормируемое значение	Контрольная группа	Группы опытных образцов				
			1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Зерно пшеницы (ГОСТ 9353-2016)							
Число падения, с (ГОСТ 27676-88)	не менее 150	246±1*	239±1*	236±1*	230±1*	231±1*	225±1*
Натура, г/л (ГОСТ 10840-2017)	не менее 730	796±1*	790±1*	796±1*	790±2*	796±1*	790±2*
Стекловидность, % (ГОСТ 10987-76)	не менее 40	60,6±0,3*	53,2±0,5*	60,7±0,2*	53,6±0,3*	60,8±0,2*	53,8±0,2*
Количество клейковины, % (ГОСТ 27839-2013)	не менее 23	35,7±0,2*	35,1±0,8*	36,0±0,2*	35,3±0,1*	36,3±0,3*	35,6±0,1*
Качество клейковины, ед. ИДК	не ниже 18-102	78±1*	80±2*	73±1*	75±1*	74±1*	75±1*
Цельносмолотая пшеничная мука (ГОСТ 26574-2017 – по обойной муке)							
Влажность, % (ГОСТ 9404-88)	не регламентировано (1 сорт не более 15)	9,4±0,2**	10,8±0,3**	9,2±0,2**	10,0±0,3**	9,1±0,2**	10,0±0,1**
Кислотность, град (ГОСТ 27493-87)	не регламентировано (на практике не более 5)	2,2±0,1*	4,0±0,2*	2,6±0,1*	4,0±0,1*	2,60±0,1*	4,0±0,1*
Зольность, % (ГОСТ 27494-2016)	не более 2,0	1,28±0,02**	1,29±0,02**	1,36±0,01**	1,37±0,02**	1,36±0,02**	1,37±0,02**
Хлеб из цельносмолотой пшеничной муки (ГОСТ Р 58233-2018 – по хлебу пшеничному из обойной муки)							
Влажность, %	не более 49,0	45,3±0,3*	44,6±0,2*	45,2±0,1*	44,3±0,1*	45,1±0,1*	44,2±0,1*
Кислотность, град	не более 7,0	3,0±0,1*	4,4±0,1*	2,8±0,1*	3,2±0,1*	2,8±0,1*	3,2±0,1*
Пористость, % (ГОСТ 5669-96)	не менее 54,0	59,6±0,3*	54,3±0,3*	57,8±0,2*	56,5±0,2*	56,7±0,2*	55,1±0,2*

Примечание. Контрольная группа: непророщенные необработанные γ-излучением зерна, опытные группы:1-я группа – образцы из пророщенного зерна, 2-я и 4-я группы – образцы из зерна, обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр γ-излучения, 3-я и 5-я группы – образцы из пророщенного зерна, ранее обработанного дозами 10 Гр и 20 Гр γ-излучения.
** – $p \le 0,05$; ** – $p \le 0,01$; ± – диапазон возможных значений.*

Оценка технологических свойств зерен пшеницы, относящейся по количеству клейковины к 1-му классу ценной мягкой пшеницы, показала, что все значения соответствовали требованиям ГОСТ 9353-2016. В результате проращивания и воздействия низкими дозами излучения произошли изменения углеводно-амилазного комплекса зерна, что отразилось на числе падения при снижении показателя в пророщенных образцах зерна до 2,5–3,0 % и после обработки дозами ионизирующего излучения 10 Гр и 20 Гр – на 5,0–6,1 %. Не установ-

лено значимого влияния излучения на изменение натуры. При проращивании эндосперм зерна, насыщаясь водой, становятся мягкими и темнеют, что привело к уменьшению стекловидности в пророщенных зернах на 7,0–7,6 %, стекловидность в облученных непророщенных зернах незначительно увеличилась – на 0,1–0,2 %.

Хлебопекарные свойства муки пшеницы связаны с содержанием белка, количеством и качеством клейковины в зерне. Сырая клейковина пшеницы сорта Ирень отличается хорошими упругими свойствами. В образцах зерна, обработанных γ-излучением дозами 10 Гр и 20 Гр, увеличилось количества клейковины на 0,3–0,6 %. В пророщенных образцах зерна пшеницы произошло снижение содержания сырой клейковины по сравнению с соответствующими контрольными образцами: на 0,6 % в необлученных образцах и на 0,7 % в ранее облученных образцах в результате расщепления полипептидов до пептидов и свободных аминокислот. Исследование качества клейковины на приборе ИДК-3М показало, что в опытных образцах, обработанных γ-излучением, плотная упругая клейковина 1 класса с 73–75 ед. ИДК в результате более интенсивного гидролиза жира и клейстеризации крахмала. При незначительном снижении качества клейковины в муке из пророщенных зерен получили клейковину хорошего качества. Требования по количеству и качеству клейковины были исследовали по ГОСТ 9353-2016 для зерна, где они выше, чем в ГОСТ 26574-2017 для муки.

По органолептическим показателям мука соответствовала регламентируемым требованиям. Установили, что влажность цельносмолотой муки имела более низкие значения в образцах муки из непророщенных и обработанных зерен дозами γ-излучения 10 Гр и 20 Гр – 9,2 и 9,1 % соответственно. Влажность муки из пророщенных зерен выше на 0,8–1,4 % по сравнению с мукой из непророщенных зерен. С высокой степенью достоверности установили более высокую зольность в муке из пророщенных зерен и обработанных излучением. Кислотность муки из непророщенного зерна соответствовала требованиям для муки высшего сорта 2,2–2,6 град, муки из пророщенного зерна – для обойной муки со значением 4,0 град.

Органолептические показатели контрольных и опытных образцов хлеба из цельносмолотой пшеничной муки соответствовали требованиям ГОСТ Р 58233-2018. Получили хлеб с немного шероховатой поверхностью и эластичным плотным мякишем. В образцах хлеба с использованием в качестве основного сырья цельносмолотой пшеничной муки из пророщенных зерен цвет хлеба более темный (рисунок), что могло быть обусловлено более интенсивным протеканием реакции Майяра с потемнением корочки и мякиша и появлением специфического густого хлебного аромата и активацией α-амилазы с расщеплением крахмала эндосперма зерна.

Контрольный образец | Опытный образец (мука из зерен, обработанных γ-излучением) | Опытный образец (мука из пророщенных зерен после γ-облучения)

Внешний вид мякиша образцов цельносмолотого пшеничного хлеба
Appearance of crumb of whole-ground wheat bread samples

При этом сформировался равномерно пористый мякиш в результате действия дрожжей на стадиях брожения и расстойки теста.

За счет увеличения количества сырой клейковины в муке из зерен, обработанных низкими дозами γ-излучения (10 Гр и 20 Гр), и появления жировой пленки из липидов произошло улучшение в тесте клейковинного каркаса. Упруго-пластические свойства теста с равномерным распределением и небольшими размерами пузырьков газа во всех образцах позволили получить хлеб, отвечающий требованиям ГОСТ Р 58233-2018. В образцах хлеба из пророщенного зерна без обработки γ-излучением были установлены более низкие показатели влажности и пористости, в образцах хлеба из зерна, обработанного γ-излучением, – влажности до 44,3–44,6 %, в образцах хлеба из непророщенного зерна – кислотности до 2,8 град.

Выводы. Была установлена возможность использования в хлебопечении цельносмолотой муки из пророщенного зерна мягкой яровой пшеницы Ирень, предварительно обработанного низким дозами γ-излучения, что является перспективным направлением для использования на предприятиях АПК тех-

нологий холодной стерилизации и контролируемого проращивания и для повышения качества и потребительских свойств пшеничного хлеба. В результате обработки низкими дозами γ-излучения зерен мягкой яровой пшеницы Ирень была установлена более высокая энергия прорастания, что позволило уменьшить время проращивания зерен до 10–12 ч. Снизилась влажность муки из обработанного γ-излучением зерна на 0,2–0,8 %, что способствует лучшей хранимоспособности муки. За счет бóльшего количества клейковины хорошего качества сформирована равномерная пористость и эластичность мякиша более интенсивного цвета. Увеличение дозы излучения с 10 до 20 Гр повлияло на кинетику прорастания зерна, количество и качество клейковины – на 0,3 % и 1ед. ИДК соответственно по сравнению с образцами, обработанными дозой 10 Гр. Аналогично установлено снижение влажности муки и мякиша на 0,1 % при обработке зерна дозой 20 Гр, при этом пористость уменьшилась на 1,1 %. Хлеб из пророщенного зерна отличается повышенной кислотностью и более плотным мякишем. Образцы зерна, муки и хлеба соответствовали требованиям стандартов. Полученные результаты показали более лучшие показатели при обработке зерна дозой 20 Гр, что определяет необходимость продолжения экспериментальных исследований по изучению влияния разных доз γ-излучения на химический состав и пищевую ценность мягкой яровой пшеницы Ирень, цельносмолотой муки и хлеба. Для оценки целесообразности применения определенных низких доз γ-излучения для обработки зерновых культур выявлена необходимость расширение объектов исследования, в том числе по годам сбора урожая зерна, исходя из конкретных целей на каждом этапе эксперимента.

Библиографические список

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

2. Минасбекян Л. А., Авагян И. А. Влияние ионизирующего излучения на радиочувствительность клеточных ядер проростков семян пшеницы // Биофизика. 2023. Т. 68, № 3. С. 554–563. DOI: 10.31857/S0006302923030171

3. Романов А. С., Марков А. С., Сергеева И. Ю., Козубаева Л. А., Протопопов Д. Н. Влияние ионизирующего облучения на пшеничную хлебопекарную муку // Техника и технология пищевых производств. 2022. № 4(52). С. 729–738. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2401

4. Санжарова Н. И., Лой Н. Н. Эффективность и перспективы применения ионизирующего излучения для фитосанитарной обработки зерна и зернопродуктов // Пищевая промышленность. 2022. № 5. С. 10–13. DOI:10.52653/PPI.2022.5.5.002

5. Тимакова Р. Т., Ильюхин Р. В. Влияние малых доз γ-излучения в условиях контролируемого микрофенологическогоонтогонеза ярового ячменя // Индустрия питания. 2023. № 1(8). С. 14–25. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-1-2

6. Яицких А. В., Степаненко Д. С. Воздействие гамма-лучей и ускоренных электронов на поверхностную микробиоту зерна пшеницы // Известия высших учебных заведений. Пищеваятехнология. 2022. № 5(389). С. 46–49. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.10

7. Ansari F., Homayouni A., Mohsennezhad P., Alivand A. M., Pourjafar H. Extending the shelf-life of whole-wheat flour by gamma irradiation and organoleptic characteristics of cakes made with irradiated flour // Current Nutrition and Food Science. 2020. Vol. 16(5), P. 757–762. DOI: 10.2174/1573401315666190115161626

8. Hussein M., Gul M., Kamal R., Iqbal M.A., Zulfiqar S., Abbas A., Röder M. S., Muqaddasi Q.H., Rahman M. Prospects of developing novel genetic resources by chemical and physical mutagenesis to enlarge the genetic window in bread wheat varieties // Agriculture. 2021. Vol. 11, Article number: 621. DOI: 10.3390/agriculture11070621

9. Manupriya B. R., Somashekarappa H. M., Patil S. L., Shenoy K. B. Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (Triticumaestivum L.) // Radiation Physics and Chemistry. 2020. Vol. 172, Article number: 108693.DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108693

10. Shabani M., Alemzadeh A., Nakhoda B., Razi H., Houshmandpanah Z., Hildebrand D. Optimized gamma radiation produces physiological and morphological changes that improve seed yield in wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2022. Vol. 28(8), P. 1571–1586. DOI: 10/1007/s12298-022-01225-0

References

1. Kazakova E. A., Makarenko E. S., Podlutskii M. S., Dontsova A. A., Bitarishvili S. V., Lychenkova M. A., Gorbatova I. V., Filippov E. G., Dontsov D. P., Chizh T. V., Snegirev A. S., Volkova P. Yu. Radiochuvstvitel'nost' sortovozimogo i yarovogo yachmenya po vyrazhennosti morfologicheskogo effekta nizkodozovogo gamma-oblucheniya original'nykh semyan [Radiosensitivity of winter and spring barley varieties according to the morphological effect of low-dose gamma irradiation of original seeds] // ZernovoekhozyaistvoRossii. 2020. № 2(68). S. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-23-28

2. Minasbekyan L. A., Avagyan I. A. Vliyanie ioniziruyushchego izlucheniya na radiochuvstvitel'nost' kletochnykh yader prorostkov semyan pshenitsy [Effect of ionizing radiation on the radiosensitivity of cell nuclei of wheat seed sprouts] // Biofizika. 2023. T. 68, № 3. S. 554–563. DOI: 10.31857/S0006302923030171

3. Romanov A. S., Markov A. S., Sergeeva I. Yu., Kozubaeva L. A., Protopopov D. N. Vliyanie ioniziruyushchego oblucheniya na pshenichnuyu khlebopekarnuyu muku [Effect of ionizing radiation on wheat bakery flour] // Tekhnika i tekhnologiyapishchevykhproizvodstv. 2022. № 4(52). S. 729–738. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2401

4. Sanzharova N. I., Loi N. N. Effektivnost' i perspektivy primeneniya ioniziruyushchego izlucheniya dlya fitosanitarnoi obrabotki zerna i zernoproduktov [Efficiency and prospects for the use of ionizing radiation for phytosanitary treatment of grain and grain products] // Pishchevayapromyshlennost'. 2022. № 5. S. 10–13. DOI: 10.52653/PPI.2022.5.5.002

5. Timakova R. T., Il'yukhin R. V. Vliyanie malykh doz γ-izlucheniya v usloviyakh kontroliruemogo mikrofenologicheskogo ontogoneza yarovogo yachmenya [Effect of low doses of γ-radiation under conditions of controlled microphenological ontogenesis of spring barley] // Industriyapitaniya. 2023. № 1(8). S. 14–25. DOI:10.29141/2500-1922-2023-8-1-2

6. Yaitskikh A. V., Stepanenko D. S. Vozdeistvie gamma-luchei i uskorennykh elektronov na poverkhnostnuyu mikrobiotu zerna pshenitsy [Effect of gamma rays and accelerated electrons on the surface microbiota of wheat grain] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya. 2022. № 5(389). S. 46–49. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.10

7. Ansari F., Homayouni A., Mohsennezhad P., Alivand A. M., Pourjafar H. Extending the shelf-life of whole-wheat flour by gamma irradiation and organoleptic characteristics of cakes made with irradiated flour // Current Nutrition and Food Science. 2020. Vol. 16(5), P. 757–762. DOI: 10.2174/1573401315666190115161626

8. Hussein M., Gul M., Kamal R., Iqbal M.A., Zulfiqar S., Abbas A., Röder M. S., Muqaddasi Q.H., Rahman M. Prospects of developing novel genetic resources by chemical and physical mutagenesis to enlarge the genetic window in bread wheat varieties // Agriculture. 2021. Vol. 11, Article number: 621. DOI: 10.3390/agriculture11070621

9. Manupriya B. R., Somashekarappa H. M., Patil S. L., Shenoy K. B. Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (Triticumaestivum L.) // Radiation Physics and Chemistry. 2020. Vol. 172, Article number: 108693. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108693

10. Shabani M., Alemzadeh A., Nakhoda B., Razi H., Houshmandpanah Z., Hildebrand D. Optimized gamma radiation produces physiological and morphological changes that improve seed yield in wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2022. Vol. 28(8), P. 1571–1586. DOI: 10/1007/s12298-022-01225-0

Поступила: 27.08.24; доработана после рецензирования: 02.12.24; принята к публикации: 02.12.24.

Критерии авторства. Авторы имеют равные права на статью и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Тимакова Р. Т. – концептуализация исследования, облучение зерна, выполнение лабораторных исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Гулова Т. И. – выполнение лабораторных исследований, интерпретация данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.11»321»:631.51.013(571.12) **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-87-92**

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА ИРЕНЬ В СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю. П. Логинов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве им. Ю.П. Логинова loginov.yup@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-2372-9350;
А. А. Казак, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве им. Ю.П. Логинова, kazakaa@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-0563-3806
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», 625003, Тюменская обл., г. Тюмень, ул. Республики, д. 7; e-mail: pr@gausz.ru

Целью данных исследований было изучение влияния глубокой безотвальной обработки почвы на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Ирень в северной лесостепи Тюменской области. Исследования проведены в 2020–2022 гг. на опытном поле ГАУ Северного Зауралья. Установлено, что при ежегодной отвальной вспашке на выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе образуется плотный подпахотный слой почвы с плотностью 1,6–2,1 г/см^2, который сдерживает поступление воды в глубокие слои почвы, а также ограничивает развитие корневой системы. Безотвальная глубокая (35–40 см) обработка почвы ПЧН-2,1 позволяет снизить плотность почвы до 1,2 г/см^2, увеличить запас влаги в пахотном горизонте с 19 до 24 мм, в метровом – со 147 до 173 мм. Растения пшеницы хорошо росли, развивались, сформировали площадь листьев 42,4 тыс. м^2/га, что на 7,7 тыс. м^2/га выше по сравнению с отвальной вспашкой. На глубокой безотвальной обработке к уборке сохранилось 4,41 млн растений, на отвальной вспашке – 4,06 млн шт./га, продуктивная кислотность соответственно была 1,1; 1,3, количество зерен в колосе – 14 и 18 шт. в пользу глубокой безотвальной обработки. Урожайность была 4,61 т/га, что на 0,69 т/га выше по сравнению с отвальной вспашкой. По качеству зерна больших различий не установлено, в обоих случаях зерно отвечало требованиям на ценную пшеницу. Рентабельность составила 40,3 %, что выше на 15,5 % по сравнению с отвальной вспашкой.

Ключевые слова: *обработка почвы, яровая пшеницы, сорт Ирень, урожайность, качество зерна.*
Для цитирования: *Логинов Ю. П., Казак А. А. Влияние глубокой безотвальной обработки почвы на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Ирень в северной лесостепи Тюменской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 87–92. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-87-92.*

(cc) BY

THE EFFECT OF DEEP SUBSOIL TILLAGE ON PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF SPRING WHEAT VARIETY 'IREN' IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF THE TYUMEN REGION

Yu. P. Loginov, Doctor of Agricultural Sciences, professor department of Biotechnology and Plant Breeding named after Yu.P. Loginov, loginov.yup@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-2372-9350;
A. A. Kazak, Doctor of Agricultural Sciences, associate professor, head of the department of Biotechnology and Plant Breeding named after Yu.P. Loginov, kazakaa@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-0563-3806
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Northern Trans-Ural State Agricultural University", 625003, Tyumen region, Tyumen, Respublik Str., 7; e-mail: pr@gausz.ru

The purpose of the current work was to study the effect of deep subsoil tillage on productivity and grain quality of spring wheat variety 'Iren' in the northern forest-steppe of the Tyumen region. The study was conducted on the experimental plot of the Northern Trans-Ural State Agricultural University in 2020–2022. There has been established that with annual moldboard plowing of leached heavy loamy blackearth, there is a dense subsurface soil layer with a density of 1.6–2.1 g/cm^2, which restrains the flow of water into the deep soil layers and limits the development of the root system. The deep (35–40 cm) subsoil tillage PCHN-2.1 allows reducing the soil density to 1.2 g/cm^2, increasing the moisture reserve in the arable layer from 19 to 24 mm, in the meter layer from 147 to 173 mm. The wheat plants have grown, developed well and formed a leaf area of 42.4 thousand m^2/ha, which is 7.7 thousand m^2/ha higher compared to moldboard plowing. 4.41 million plants remained for harvesting with deep subsoil tillage, 4.06 million plants/ha with moldboard plowing, the productive acidity was 1.1; 1.3, respectively, the number of grains per ear was 14 and 18 pcs. in favor of deep subsoil tillage. The productivity was 4.61 t/ha, which was 0.69 t/ha higher compared to moldboard plowing. There were no significant differences in grain quality; in both tillage options the grain met the requirements for valuable wheat. Profitability was 40.3 %, which was 15.5 % higher than with moldboard plowing.

Keywords: *tillage, spring wheat, variety 'Iren', productivity, grain quality.*

Введение. Яровая пшеница является основной зерновой культурой в Тюменской области. В прошлом она занимала площадь пашни около 800 тыс. га. В последнее десятилетие стабильно высевается на площадь 400 тыс. га. Средняя урожайность ее в области составляет 2,2–2,4 т/га, хотя реестровые сорта сибирской и инорайонной селекции имеют потенциальную урожайность 4–5 т/га, в том числе и сорт Ирень уральской селекции (Зезин и др., 2022; Ященко и др., 2022; Morgounov et al., 2022; Шаманин и др., 2021).

Следует отметить, что реестровые сорта пшеницы возделываются по общепринятой технологии, поэтому не могут полностью проявить свои потенциальные возможности. В этой связи необходимо для каждого сорта разрабатывать технологию возделывания (Зезин и др., 2022; Конищев и Гарифуллин, 2022; Rzaeva, 2021).

Последние десятилетия отличаются потеплением климата и усилением засух, осенняя вспашка почвы оборотными плугами затруднена. Орудия часто выходят из строя. Кроме того, ежегодная вспашка отвальными плугами приводит к образованию плужной «подошвы», которая сдерживает поступление влаги в пахотный горизонт из нижних слоев почвы, а также сдерживает развитие корневой системы вглубь (Абрамов и др., 2022; Фисунов и Чекмарева, 2023; Fisunov et al., 2022).

Цель наших исследований заключается в изучении влияния глубокой безотвальной обработки почвы на урожайность и качество зерна яровой пшеницы сорта Ирень в северной лесостепи Тюменской области.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены в 2020–2022 гг. на опытном поле ГАУ Северного Зауралья. Почва – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый, средне обеспечена азотом и фосфором, хорошо – калием, реакция почвенного раствора 6,7, содержание гумуса 7,2 %.

Предшественник однолетние травы. В опыте изучалась глубокая (35–40 см) безотвальная обработка почвы ПЧН-2,1 в сравнении с традиционной отвальной вспашкой плугом ПН-3-35 на глубину 23–25 см.

За объект изучения взят реестровый сорт яровой мягкой пшеницы Ирень, который широко распространен в Тюменской области. Сорт раннеспелый, по качеству зерна относится к ценной пшенице.

Площадь делянки 100 м^2, учетная – 50 м^2, повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое. Срок посева оптимальный при температуре почвы 10–12 °С, норма высева 6 млн всхожих зерен на гектар.

Минеральные удобрения вносили в почву перед посевом пшеницы на планируемую урожайность 5 т/га. Для борьбы с сорняками посевы пшеницы обрабатывали гербицидом Пума Супер 100, КЭ в дозе 1,0 л/га в фазу кущения растений.

Уборку провели в фазу полной спелости зерна комбайном Sampo-130 с последующим взвешиванием урожайности и приведением ее к 14%-й влажности и 100 %-й чистоте. Урожайные данные обработаны статистическим методом по Б. А. Доспехову (2014) и с использованием программного продукта Snedecor.

Результаты и их обсуждение. Годы исследований по условиям были разными. Так, 2020 г. характеризовался как умеренно влажный и прохладный (ГТК = 1,04) во второй половине лета. В 2022 г. погода сложилась вполне благоприятной для роста, развития растений пшеницы и получения высокой урожайности (ГТК = 1,14). 2021 г. отличался сухой и жаркой погодой (ГТК = 0,44). Контрастные погодные условия в годы исследований позволили более полно изучить поставленную задачу.

Изучаемые обработки повлияли на запас влаги в пахотном и метровом слоях почвы (табл. 1).

Таблица 1. Запас влаги в почве в зависимости от основной обработки (2020–2022 гг.)
Table 1. Soil moisture content depending on primary tillage (2020–2022)

Вариант опыта	Запас влаги в почве, мм					
	перед посевом		фаза кущения		перед уборкой	
	1	2	1	2	1	2
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	19	147	16	139	12	94
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	24	173	21	162	17	115
$НСР_{05}$	3	14	4	11	2	7

Примечание. 1 – пахотный горизонт; 2 – метровый слой почвы.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что по глубокой безотвальной обработке запас влаги в пахотном слое и метровом слое почвы в течение летнего периода был выше, чем по отвальной вспашке на 23–25 см.

Глубокая безотвальная вспашка благоприятно повлияла на плотность почвы в подпахотном горизонте (табл. 2), что способствовало лучшему развитию коневой системы и проникновению ее на большую глубину.

Таблица 2. Влияние обработки почвы на ее плотность (2020–2022 гг.)
Table 2. Effect of tillage on soil density (2020–2022)

Вариант опыта	Плотность почвы, г/см^2					
	перед посевом		фаза кущения		перед уборкой	
	1	2	1	2	1	2
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	1,12	1,35	1,19	1,43	1,24	1,62
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	1,14	1,17	1,22	1,28	1,17	1,24
$НСР_{05}$	0,01	0,09	0,04	0,13	0,02	0,16

Примечание. 1 – пахотный слой; 2 – метровый слой почвы.

Разрушение плужной «подошвы» улучшает доступ влаги к корневой системе, что благоприятно влияет на формирование надземной части растений пшеницы. Прежде всего необходимо обратить внимание на густоту всходов и сохранность растений к уборке (табл. 3), которые тесно коррелируют с урожайностью зерна ($r = 0,79±0,11$; $r = 0,86±0,14$).

Таблица 3. Густота всходов и сохранность растений пшеницы к уборке (2020–2022 гг.)
Table 3. Sprout density and survival of wheat plants at harvest (2020–2022)

Вариант опыта	Густота стояния растений в фазу всходов		Сохранность растений к уборке	
	шт./м^2	%	шт./м^2	%
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	458	76,3	406	67,6
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	495	82,5	441	73,5
$НСР_{05}$	23	–	19	–

По безотвальной обработке на 35–40 см густота всходов составила 495 шт./м^2, или на 37 шт. больше по сравнению с отвальной вспашкой на 23–25 см. По сохранности растений к уборке преимущество также было за безотвальной глубокой обработкой.

В варианте с безотвальной обработкой растения пшеницы хорошо росли и развивались. Они имели более развитую листовую поверхность (табл. 4) за счет дополнительных побегов, количества листьев на растении и более лучшего развития листовой пластинки.

Таблица 4. Площадь листьев и продуктивность фотосинтеза (2020–2022 гг.)
Table 4. Leaf area and photosynthetic productivity (2020–2022)

Вариант опыта	Количество листьев на растении, шт.	Площадь листьев, тыс. м^2/га	ФСП, тыс. м^2*сутки/га	Чистая продуктивность фотосинтеза, г*м^2/сутки
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	7	34,7	912	4,8
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	9	42,4	1175	5,2
$НСР_{05}$	0,5	2,7	43	0,2

Общее состояние растений пшеницы по безотвальной глубокой обработке было лучше, чем по отвальной вспашке. Растения имели темно-зеленую окраску. Между площадью листьев и урожайностью зерна пшеницы в изучаемых вариантах опыта установлена тесная положительная связь ($r = 0,87±0,15$; $0,92±0,12$).

Показатели устойчивости растений к полеганию представлены в таблице 5.

Таблица 5. Устойчивость растений пшеницы к полеганию (2020–2022 гг.)
Table 5. Lodging resistance of wheat plants (2020–2022)

Вариант опыта	Высота растений	Длина нижних междоузлий, см		Масса 1 см стебля, мг	Устойчивость к полеганию, балл
		первого	второго		
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	86±5	3,8±0,6	7,5±0,9	18±1,4	4,6±0,5
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	92±8	4,2±0,4	8,6±0,7	21±0,9	4,2±0,3
$НСР_{05}$	4,6	0,3	0,8	1,6	0,2

Строение стебля растений по изучаемым обработкам почвы было вполне приемлемо и обеспечило достаточно высокую устойчивость к полеганию (4,6–4,2 балла). В годы исследований посев пшеницы по делянкам убирали без затруднений и качественно. При этом зерно среднераннего сорта Ирень имело влажность 12,4–13,8 %.

При изучении любого агроприема важным показателем является урожайность (табл. 6).

Таблица 6. Влияние обработки почвы на урожайность пшеницы (2020–2022 гг.)
Table 6. Effect of tillage on wheat productivity (2020–2022)

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка урожайности, т/га	V, %
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	средняя		
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	4,19	3,21	4,37	3,92	–	21,5
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	4,76	4,15	4,93	4,61	0,69	14,7
$НСР_{05}$	0,38	0,24	0,31	–	–	–

Из анализа данных таблицы 6 следует, что в годы исследований по отвальной вспашке на 23–25 см урожайность пшеницы сорта Ирень изменялась от 3,21 т/га в 2021 г. до 4,37 т/га в 2022 г., в среднем 3,92 т/га. Таким образом, реальная урожайность была далека от планируемой.

По глубокой безотвальной обработке урожайность в среднем за три года исследований составила 4,61 т/га. При этом в засушливом 2021 г. она была 4,15 т/га, или на 0,94 т/га выше, чем по отвальной вспашке на глубину 23–25 см. В среднем за три года по глубокой безотвальной обработке урожайность пшеницы на 0,69 т/га, выше, чем по отвальной вспашке.

Обработка почвы также повлияла на формирование элементов структуры урожайности (табл. 7).

Таблица 7. Структура урожайности пшеницы в зависимости от обработки почвы (2020–2022 гг.)
Table 7. Structure of wheat productivity depending on tillage (2020–2022)

Вариант опыта	Количество растений перед уборкой, шт./м^2	Коэффициент продуктивной кустистости	Зерен в колосе, шт.	Масса, г	
				1000 зерен	зерна с колоса
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	406	1,1	14	36,2	0,86
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	441	1,3	18	37,9	0,81
$НСР_{05}$	19	0,16	2	0,7	0,04

Глубокая безотвальная обработка на 35–40 см благоприятно повлияла на формирование структурных элементов урожайности, кроме массы зерна с колоса. Анализируя структурные элементы, следует отметить, что на урожайность пшеницы в большей мере влияют количество продуктивных стеблей перед уборкой и масса зерна с колоса. По глубокой безотвальной обработке количество продуктивных стеблей составило 573 шт./м^2, или на 127 шт. больше по сравнению с отвальной вспашкой, несмотря на то что масса зерна с колоса по безотвальной глубокой обработке была на 0,05 г ниже, чем по отвальной вспашке. Урожайность пшеницы с 1 га за счет продуктивных стеблей составила 4,61 т, или на 0,69 т выше по сравнению с отвальной вспашкой (23–25 см).

Между урожайностью и количеством продуктивных стеблей на единице площади установлена тесная положительная связь ($r = 0,86 \pm 0,17$), между урожайностью и массой зерна в колосе связь тоже положительная ($r = 0,28 \pm 0,05$) до средней отрицательной ($r = -0,31 \pm 0,07$).

В условиях рынка урожайность зерна пшеницы должна сочетаться с его качеством (Ахтариева и Белкина, 2021). О влиянии основной обработки почвы на качество зерна пшеницы можно судить по данным таблицы 8.

Таблица 8. Качество зерна пшеницы (2020–2022 гг.)
Table 8. Quality of wheat grain (2020–2022)

Вариант опыта	Объемная масса зерна, г/л	Стекловидность, %	Седиментация, мл	Белок, %	Клейковина	
					количество, %	качество, ед. ИДК-1
Отвальная вспашка ПН-3-35 на 23–25 см	774	67	49	15,9	29,6	70
Безотвальная вспашка ПЧН-2,1 на 35–40 см	789	63	54	15,4	30,2	67
$НСР_{05}$	12	8	1,2	0,9	1,5	4

Приведенные показатели качества зерна пшеницы сорта Ирень по изученным обработкам почвы были близкими и отвечали требованиям на ценную пшеницу.

Расчет экономической эффективности показал, что рентабельность яровой пшеницы сорта Ирень на варианте с отвальной вспашкой почвы составила 24,8 %, на безотвальной глубокой обработке – 40,3 %, или на 15,5 % выше.

Выводы. При ежегодной отвальной вспашке выщелоченного тяжелосуглинистого чернозема образуется плотная плужная «подошва», которая сдерживает подъем воды из глубоких слоев почвы в пахотный горизонт, а также препятствует развитию корневой системы в глубь почвы. При безотвальной глубокой обработке почвы ПЧН-2,1 на глубину 35–40 см плотный подпахотный слой разрушается, снижается плотность почвы на глубине 35–40 см

перед посевом с 1,35 до 1,17 г/см^3, в фазу кущения растений пшеницы – с 1,43 до 1,28 г/см^3 и перед уборкой с 1,62 до 1,24 г/см^3. Увеличивается запас влаги в пахотном горизонте перед посевом с 19 до 24 мм, в фазу кущения растений пшеницы – с 16 до 21 мм, перед уборкой – с 12 до 17 мм. Соответственно увеличился запас влаги в метровом слое почвы при глубине безотвальной обработке.

По глубокой безотвальной обработке растения пшеницы лучше росли и развивались, формировали структурные элементы и урожайность 4,61 т/га, что на 0,69 т/га выше по сравнению с отвальной вспашкой. Качество зерна по отвальной вспашке и глубокой безотвальной обработке практически было одинаковым, и зерно отвечало требованиям на ценную пшеницу.

Рентабельность зерна пшеницы, полученного по отвальной вспашке, составила 24,8 %, по глубокой безотвальной обработке – 40,3 %.

Библиографический список

1. Абрамов Н. В., Семизоров С. А., Оксукбаева А. М. Основная обработка почвы и формирование азотного режима в системе точного земледелия // Земледелие. 2022. № 3. С. 32–35. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-32-36
2. Ахтариева М. К., Белкина Р. И. Сравнительная оценка сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости по показателям качества // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12(177). С. 88–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-88-92
3. Зезин Н. Н., Воробьев В. А., Воробьев А. В., Николаева З. Р. Приоритетная технология создания новых высокоурожайных сортов яровой мягкой пшеницы на Среднем Урале // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-59-63
4. Конищев А. А., Гарифуллин И. И. Влияние взаимодействия сорта яровой пшеницы с технологиями обработки почвы и дозами азотных удобрений на стабильность межгодовой урожайности // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-70-76
5. Фисунов Н. В., Чекмарева М. Н. Влияние основной обработки на агрофитоценоз и урожайность озимых зерновых в северной лесостепи Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2023. № 4(193). С. 106–113. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-106-113
6. Шаманин В. П., Флис П., Савин Т. В., Шепелев С. С., Кузьмин О. Г., Чурсин А. С., Потоцкая И. В., Лихенко И. Е., Кушниренко И. Ю., Казак А. А., Чудинов В. А., Шелаева Т. В., Моргунов А. И. Генотипическая и экологическая изменчивость содержания цинка в зерне сортов яровой мягкой пшеницы международного питомника КАСИБ // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25(5). С. 543–551. DOI 10.18699/VJ21.061
7. Ященко С. Н., Логинов Ю. П., Казак А. А. Структурные элементы семян сортов пшеницы в зависимости от сроков сева и норм высева в Северной лесостепи Тюменской области // Вестник КрасГАУ. 2022. № 9(186). С. 55–66. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66
8. Fisunov N., Shulepova O., Sannikova N. Influence of basic tillage and coulisse strips on the weed infestation and yield of spring wheat (Triticum aestivum) in the Tyumen region // Research on Crops. 2022. Vol. 23(4), DOI: 10.31830/2348-7542.2022.roc-905
9. Morgounov A., Savin T., Flis P., Babkenov A., Shelaeva T., Chudinov V., Kazak A., Koksel H., Shepelev S., Shamanin V., Likhenko I., Sharma R., Shreyder E. Effects of environments and cultivars on grain ionome of spring wheat grown in Kazakhstan and Russia // Crop and Pasture Science. 2022. Vol. 73, № 5. P. 515-527. DOI: 10.1071/CP21493
10. Rzaeva, V. Productivity of crop rotation by the main tillage in the Tyumen region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 52079. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052079

References

1. Abramov N. V., Semizorov S. A., Oksukbaeva A. M. Osnovnaya obrabotka pochvy i formirovanie azotnogo rezhima v sisteme tochnogo zemledeliya [Primary tillage and formation of nitrogen regime in precision farming system] // Zemledelie. 2022. № 3. S. 32–35. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-32-36
2. Akhtarieva M. K., Belkina R. I. Sravnitel'naya otsenka sortov yarovoi myagkoi pshenitsy raznykh grupp spelosti po pokazatelyam kachestva [Comparative estimation of spring common wheat varieties of different maturity groups according to quality indicators] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 12(177). S. 88–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-88-92
3. Zezin N. N., Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V., Nikolaeva Z. R. Prioritetnaya tekhnologiya sozdaniya novykh vysokourozhainykh sortov yarovoi myagkoi pshenitsy na Srednem Urale [Priority technology for developing new highly productive varieties of spring common wheat in the Middle Urals] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-59-63
4. Konishchev A. A., Garifullin I. I. Vliyanie vzaimodeistviya sorta yarovoi pshenitsy s tekhnologiyami obrabotki pochvy i dozami azotnykh udobrenii na stabil'nost' mezhgodovoi urozhainosti [The effect of interaction of spring wheat variety with tillage technologies and doses of nitrogen fertilizers on stability of interannual productivity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-70-76
5. Fisunov N. V., Chekmareva M. N. Vliyanie osnovnoi obrabotki na agrofitotsenoz i urozhainost' ozimykh zernovykh v severnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti [The effect of primary tillage on agrophytocenosis and productivity of winter grain crops in the northern forest-steppe of Tyumen region] // Vestnik KrasGAU. 2023. № 4(193). S. 106–113. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-106-113
6. Shamanin V. P., Flis P., Savin T. V., Shepelev S. S., Kuz'min O. G., Chursin A. S., Pototskaya I. V., Likhenko I. E., Kushnirenko I. Yu., Kazak A. A., Chudinov V. A., Shelaeva T. V., Morgunov A. I. Genotipicheskaya i ekologicheskaya izmenchivost' soderzhaniya tsinka v zerne sortov yarovoi myagkoi pshenitsy mezhdunarodnogo pitomnika KASIB [Genotypic and ecological variability

of zinc content in the grain of spring bread wheat varieties in the international nursery KASIB] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. № 25(5). S. 543–551. DOI 10.18699/VJ21.061

7. Yashchenko S. N., Loginov Yu. P., Kazak A. A. Strukturnye elementy semyan sortov pshenitsy v zavisimosti ot srokov seva i norm vyseva v Severnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti [Structural elements of wheat varieties' seeds according to sowing dates and seeding rates in the Northern forest-steppe of Tyumen region] // Vestnik KrasGAU. 2022. № 9(186). S. 55–66. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-55-66

8. Fisunov N., Shulepova O., Sannikova N. Influence of basic tillage and coulisse strips on the weed infestation and yield of spring wheat (Triticum aestivum) in the Tyumen region // Research on Crops. 2022. Vol. 23(4), DOI: 10.31830/2348-7542.2022.roc-905

9. Morgounov A., Savin T., Flis P., Babkenov A., Shelaeva T., Chudinov V., Kazak A., Koksel H., Shepelev S., Shamanin V., Likhenko I., Sharma R., Shreyder E. Effects of environments and cultivars on grain ionome of spring wheat grown in Kazakhstan and Russia // Crop and Pasture Science. 2022. Vol. 73, № 5. P. 515–527. DOI: 10.1071/CP21493

10. Rzaeva, V. Productivity of crop rotation by the main tillage in the Tyumen region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, P. 52079. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052079

Поступила: 12.07.24; доработана после рецензирования: 16.09.24; 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. Авторский вклад равноценен по всем позициям.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.174: 631.5(470.61) **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-93-102**

ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ, ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ СОРГО ЗЕРНОВОГО В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА И НОРМ ВЫСЕВА

С. А. Васильченко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, wasilchenko12@rambler.ru, ORCIDID: 0000-0003-1587-2533;
Г. В. Метлина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, metlina_gv@mail.ru, ORCIDID: 0000-0003-1712-0976;
И. К. Копман, агроном лаборатории технологии возделывания зерновых и пропашных культур, i.copman@yandex.ru, ORCIDID: 0009-0000-6086-1441;
В. В. Ковтунов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, 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

Сорго – засухоустойчивая теплолюбивая культура, зерно которой обладает высокой питательностью и широко применяется в животноводстве. В РФ Ростовская область занимает первое место по посевным площадям под эту культуру. Цель исследований – определение влияния норм высева и сроков посева сорго зернового на урожайность, водопотребление и пищевой режим в южной зоне Ростовской области. Исследования были проведены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2022–2023 годах. В результате проведенных исследований было выявлено снижение содержания доступного растениям сорго зернового азота до 4,1–4,7; 4,1–4,9 и 4,2–4,7 мг/кг почвы по сортам Зерноградское 88, Атаман и Есаул соответственно. К фазе полной спелости содержание подвижного фосфора в почве снижалось до 15,3–17,0; 16,0–17,0; 14,1–15,7 мг/кг почвы соответственно по сортам Зерноградское 88, Атаман, Есаул. В конце вегетации сорго зернового содержание обменного калия находилось на уровне 271–306; 275–295; 261–290 мг/кг почвы соответственно по сортам Зерноградское 88, Атаман, Есаул. Водопотребление находилось на уровне 227,4–277,9 мм/га по сорту Зерноградское 88, 219,6–272,1 мм/га – по сорту Атаман и 222,8–271,5 мм/га – по сорту Есаул. При этом расход влаги на формирование урожайности зерна составил 48,42–70,41; 42,92–69,85; 47,15–83,70 мм/т соответственно по сортам Зерноградское 88, Атаман, Есаул.В среднем за годы исследований урожайность зерна составляла по сорту Зерноградское 88 4,51 т/га, Атаман – 4,66 т/га, Есаул – 4,11 т/га. Наиболее высокие урожайности отмечались в третьем сроке посева (в среднем по сроку посева 4,66 т/га) и при норме высева 0,4 млн шт. всхожих семян/га (в среднем по норме высева 4,94 т/га).

Ключевые слова: *сорго зерновое, водопотребление, урожайность, минеральное питание, азот, фосфор, калий.*

Для цитирования: *Васильченко С. А., Метлина Г. В., Копман И. К., Ковтунов В. В. Пищевой режим, водопотребление и урожайность сорго зернового в условиях южной зоны Ростовской области в зависимости от сроков посева и норм высева // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 93–102. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-93-102.*

(cc) BY

NUTRIENT STATUS, WATER CONSUMPTION AND PRODUCTIVITY OF GRAIN SORGHUM IN THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION DEPENDING ON SOWING DATES AND SEEDING RATES

S. A. Vasilchenko, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, wasilchenko12@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0003-1587-2533;
G. V. Metlina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, metlina_gv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1712-0976;
I. K. Kopman, agronomist of the laboratory for cultivation technology of grain and row crops, i.copman@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0000-6086-1441;
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

Sorghum is a drought-resistant, heat-loving crop, the grain of which is highly nutritious and widely used in animal husbandry. In the Russian Federation, the Rostov Region ranks first in terms of sowing areas for this crop. The purpose of the current study was to determine the effect of seeding rates and sowing dates of grain sorghum on

productivity, water consumption and nutrient status in the southern part of the Rostov Region. The study was conducted at the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2022–2023. As a result of the study, there has been found a decrease of grain nitrogen available to sorghum plants to 4.1–4.7; 4.1-4.9 and 4.2–4.7 mg/kg of soil for the varieties 'Zernogradskoye 88', 'Ataman' and 'Esaul', respectively. By the complete maturity stage, the mobile phosphorus content in soil decreased to 15.3–17.0; 16.0–17.0; 14.1–15.7 mg/kg of soil, respectively, for the varieties 'Zernogradskoe 88', 'Ataman', and 'Esaul'. At the end of grain sorghum vegetation period, the exchangeable potassium content was at the level of 271–306; 275–295; 261–290 mg/kg of soil, respectively, for the varieties 'Zernogradskoe 88', 'Ataman', and 'Esaul'. Water consumption was at the level of 227.4–277.9 mm/ha for the variety 'Zernogradskoye 88', 219.6–272.1 mm/ha for the variety 'Ataman' and 222.8–271.5 mm/ha for the variety 'Esaul'. At the same time, moisture consumption for the formation of grain productivity was 48.42–70.41; 42.92–69.85; 47.15–83.70 mm/t, respectively, for the varieties 'Zernogradskoye 88', 'Ataman', and 'Esaul'. Over the years of study, the mean grain productivity was 4.51 t/ha for the variety 'Zernogradskoye 88', 4.66 t/ha for the variety 'Ataman', 4.11 t/ha for the variety 'Esaul'. The largest productivity was identified in the third sowing date (4.66 t/ha on average according to a sowing date) and at a seeding rate of 0.4 million germ. pcs. per ha (4.94 t/ha on average according to a seeding rate).

Keywords: *grain sorghum, water consumption, productivity, mineral nutrition, nitrogen, phosphorus, potassium.*

Введение. В районах недостаточного и неустойчивого увлажнения, к которым и относится Ростовская область, необходимо увеличивать посевные площади засухоустойчивых культур и, в частности, сорго зернового. В последние годы в «АНЦ «Донской» выведены новые сорта этой культуры с урожайностью 5–6 т/га и высоким качеством зерна (Алабушев и др., 2017; Алабушев, 2020; Ковтунова и Ковтунов, 2018).

Отличительной особенностью сорго является приспособленность к возделыванию в засушливых условиях, где оно может формировать урожайность зерна более 2,5 т/га даже без применения минеральных удобрений и способно вегетировать на засоленных почвах, экономно расходовать воду и элементы минерального питания (азот, фосфор и калий) (Guoetal., 2017; Ковтунова и Ковтунов, 2019).

В условиях Предуральской степи Республики Башкортостан потенциал урожайности отдельных сортов сорго зернового российской селекции достигает 5,5–6,4 т/га (Биктимиров и Низаева, 2021).

Зарубежный опыт возделывания сорго подтверждает его высокую продуктивность. Так, в условиях Турции и в сухостепной зоне Западного Казахстана наиболее урожайными и засухоустойчивыми являются сорговые культуры (Erenetal., 2021; Nasiyevetal., 2020).

У сорго зернового отмечается высокая положительная корреляционная связь между содержанием продуктивной влаги в метровом слое почвы в фазу выметывания и урожайностью зерна (Бельтюков, 2007).

В зоне неустойчивого увлажнения Ростовской области нормы высева и сроки посева оказывают влияние на показатели зерновой продуктивности и густоту стояния растений (Васильченко и др., 2022).

Цель исследований – определение влияния норм высева и сроков посева сорго зернового на урожайность, водопотребление и пищевой режим в южной зоне Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2022–2023 гг. на черноземе обыкновенном карбонатном тяжелосуглинистом. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,3 %, pH – 7,0, P_2O_5 – 24,4; K_2O – 360 мг/кг почвы. Предшественник – озимая пшеница. Опыты проводили на участке, расположенном вблизи города Зерноград (широта: 46°50′42″ с.ш.; долгота: 40°18′30″ в.д.).

Отбор почвенных образцов осуществляли по ГОСТ Р 58595-2019. Определение содержания нитратного азота проводили по ГОСТ 26488-85, а подвижных соединений фосфора и калия – по ГОСТ 26205-91.

Посев сорго зернового выполняли сеялкой Клен 4.2, и он проводился во второй декаде мая (1 срок); в третьей декаде мая (2 срок); в первой декаде июня (3 срок). Изучались 3 нормы высева: 0,2; 0,3; 0,4 млн шт. всхожих семян/га.

Уборку производили с помощью селекционного комбайна WintershteigerQuantum в фазе полной спелости зерна с пересчетом на 14 %-ю влажность и 100 %-ю чистоту. Общая площадь делянки – 63 м^2, учетная – 40 м^2.

Статистическую обработку полевых опытов выполняли по методике Б. А. Доспехова (2014) с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Исследования проводили на сортах сорго зернового селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» Зерноградское 88, Атаман, Есаул. Годы их включения в Государственный реестр селекционных достижений – 2013, 2018 и 2023-й соответственно. Эти сорта отличаются низким содержанием танинов (0,04–0,21 %) и высоким содержанием крахмала в зерне, что благоприятно отражается на качестве корма, получаемого из зерна сорго.

Метеорологические условия в период проведения исследований представлены в таблице 1.

В годы проведения исследований с июня по сентябрь отмечалось превышение среднесуточной температуры воздуха над среднемноголетними значениями, что положительно отразилось на развитии растений сорго.

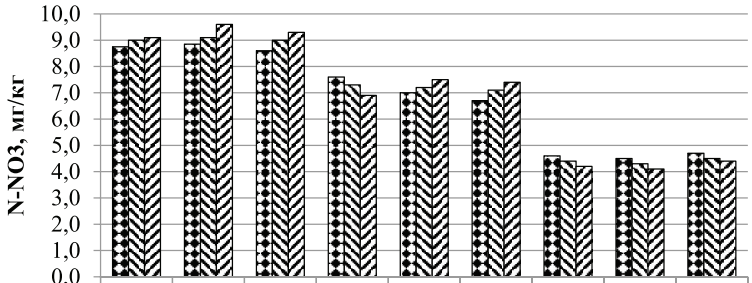
В течение вегетации осадки выпадали неравномерно. Более увлажненным был 2023 г., когда за период с мая по сентябрь выпало 254 мм, в 2022 г. их было значительно меньше – 186 мм, что и объясняет разницу в полученной урожайности в опыте. В 2022 г. отмечалась более низкая температура воздуха, когда в среднем за май–сентябрь она составила 54 % против 60 % в 2023 году.

Таблица 1. Метеорологические условия вегетационного периода сорго зернового (2022–2023 гг.)
Table 1. Weather conditions of grain sorghum vegetation period (2022–2023)

Показатель	Год	май	июнь	июль	август	сентябрь	сумма
температура воздуха, °С	2022	14,8	23,2	24,1	26,7	17,7	21,3
	2023	16,0	20,5	24,0	26,0	19,1	21,1
	среднемноголетняя	16,5	20,5	23,1	21,9	16,3	19,7
осадки, мм	2022	28	9	65	48	36	186
	2023	116	37	52	20	29	254
	среднемноголетняя	51	71	58	45	42	268
влажность воздуха, %	2022	61	49	53	47	60	54
	2023	72	69	60	46	53	60
	среднемноголетняя	64	65	61	60	64	63

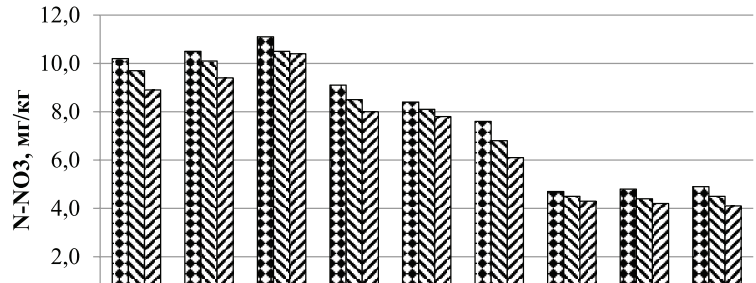
Результаты и их обсуждение. В биологическом круговороте элементов питания важная роль принадлежит самим растениям. Потребляя их в процессе вегетационного периода, они изменяют их количество в корнеобитаемом слое и тем самым влияют на его плодородие. При этом для оценки эффективного плодородия почвы, а также для исследования ее пищевого режима под изучаемой культурой первостепенное значение имеют только доступные для растений формы питательных веществ.

Проведенные исследования показали, что содержание основных элементов питания под сорго зерновым зависело в основном от фазы развития и в меньшей степени – от сроков и норм посева (рис. 1).



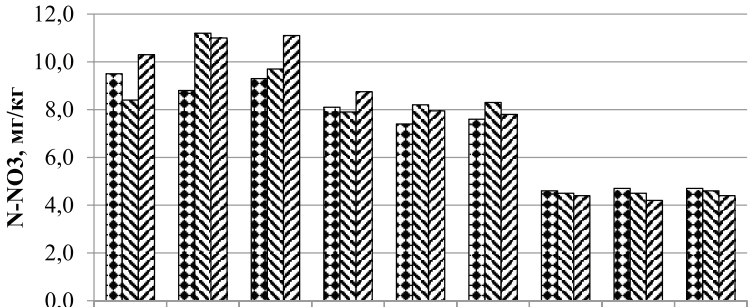
	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	8,8	8,9	8,6	7,6	7,0	6,7	4,6	4,5	4,7
2 срок	9,0	9,1	9,0	7,3	7,2	7,1	4,4	4,3	4,5
3 срок	9,1	9,6	9,3	6,9	7,5	7,4	4,2	4,1	4,4

Рис. 1, а. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления азота растениями сорго зернового сорта Зерноградское 88 в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 1, a. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of nitrogen consumption by the grain sorghum variety 'Zernogradskoe 88' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)



	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	10,2	10,5	11,1	9,1	8,4	7,6	4,7	4,8	4,9
2 срок	9,7	10,1	10,5	8,5	8,1	6,8	4,5	4,4	4,5
3 срок	8,9	9,4	10,4	8,0	7,8	6,1	4,3	4,2	4,1

Рис. 1, в. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления азота растениями сорго зернового сорта Атаман в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 1, b. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of nitrogen consumption by the grain sorghum variety 'Ataman' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)



	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	9,5	8,8	9,3	8,1	7,4	7,6	4,6	4,7	4,7
2 срок	8,4	11,2	9,7	7,9	8,2	8,3	4,5	4,5	4,6
3 срок	10,3	11,0	11,1	8,8	8,0	7,8	4,4	4,2	4,4

Рис. 1, с. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления азота растениями сорго зернового сорта Есаул в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 1, c. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of nitrogen consumption by the grain sorghum variety 'Esaul' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)

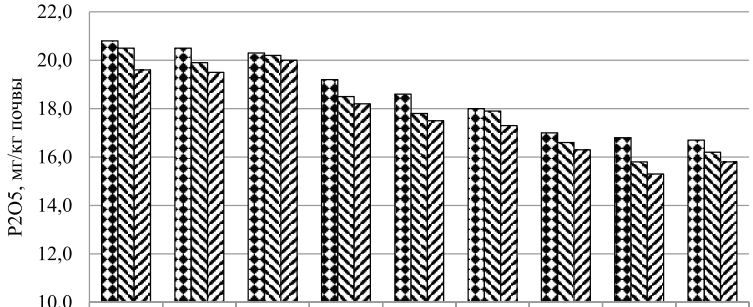
По принятой классификации (по Мачигину), содержание нитратного азота в течение всей вегетации было на уровне низкой (5–8 мг/кг почвы) и средней (9–15 мг/кг почвы) обеспеченности для растений сорго и колебалось от 11,2 до 4,1 мг/кг почвы. Это свидетельствует о том, что растения сорго формировали свою продуктивность при недостаточном количестве его в пахотном слое почвы и не смогли дать высокую урожайность – свыше 6 т/га.

Наибольшее содержание нитратного азота в слое почвы 0–30 см отмечалось в фазе всходов, когда растения еще не имели большой надземной и подземной биомассы, и оно находилось на уровне 8,4–11,2 мг/кг почвы.

К фазе цветения количество $N\text{-}NO_3$ при усвоении его растениями сорго снижалось до 6,7–9,1 мг/кг почвы, а минимальных значений 4,1–4,9 мг/кг почвы оно достигало к фазе полной спелости. Это свидетельствует о том, что потребление $N\text{-}NO_3$ на формировании урожайности сорго отмечалось в течение всего периода вегетации.

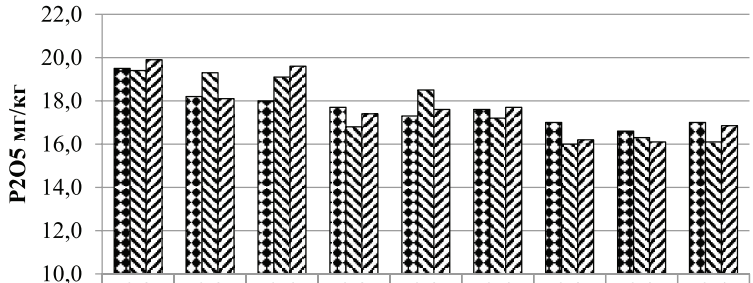
Существенной разницы в динамике содержания нитратного азота под сорго в зависимости от различных сроков посева и норм высева нами не установлено.

Динамика содержания P_2O_5 в пахотном слое почвы под сорго была аналогичной содержанию $N\text{-}NO_3$ и также в большей степени зависела от фазы развития растений и слабо от изучаемых факторов – сроков посева и норм высева. В течение вегетации содержание P_2O_5 под сорго варьировало в пределах от 20,8 до 15,3 мг/кг почвы, что соответствует среднему уровню (16–30 мг/кг) по принятой классификации, то есть растения сорго в течение вегетации формировали свою урожайность не испытывая дефицит подвижного фосфора в почве (рис. 2).



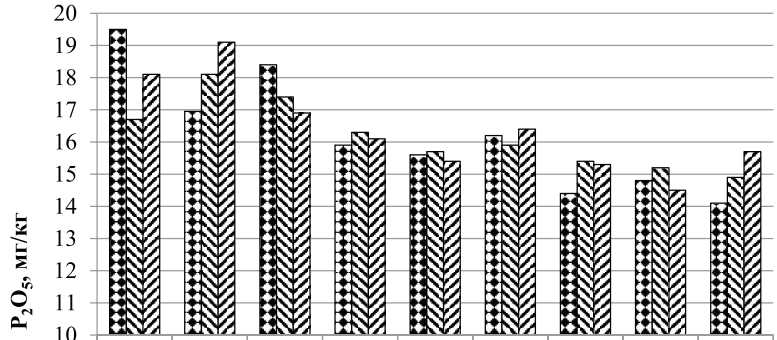
	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	20,8	20,5	20,3	19,2	18,6	18,0	17,0	16,8	16,7
2 срок	20,5	19,9	20,2	18,5	17,8	17,9	16,6	15,8	16,2
3 срок	19,6	19,5	20,0	18,2	17,5	17,3	16,3	15,3	15,8

Рис. 2, а. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления подвижного фосфора растениями сорго зернового сорта Зерноградское 88 в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 2, a. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of mobile phosphorus consumption by the grain sorghum variety 'Zernogradskoe 88l' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)



	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	19,5	18,2	18,0	17,7	17,3	17,6	17,0	16,6	17,0
2 срок	19,4	19,3	19,1	16,8	18,5	17,2	16,0	16,3	16,1
3 срок	19,9	18,1	19,6	17,4	17,6	17,7	16,2	16,1	16,9

Рис. 2, б. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления подвижного фосфора растениями сорго зернового сорта Атаман в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 2, b. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of mobile phosphorus consumption by the grain sorghum variety 'Ataman' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)



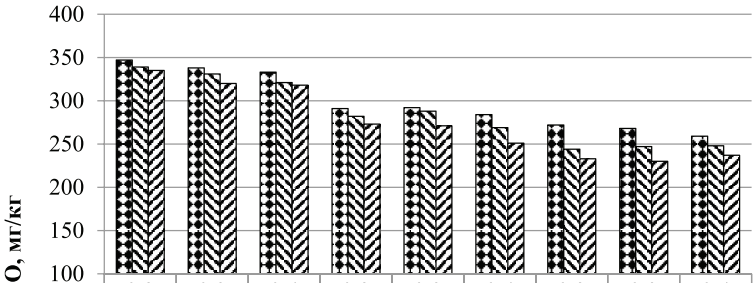
	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	19,5	17,0	18,4	15,9	15,6	16,2	14,4	14,8	14,1
2 срок	16,7	18,1	17,4	16,3	15,7	15,9	15,4	15,2	14,9
3 срок	18,1	19,1	16,9	16,1	15,4	16,4	15,3	14,5	15,7

Рис. 2, с. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления подвижного фосфора растениями сорго зернового сорта Есаул в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 2, c. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of mobile phosphorus consumption by the grain sorghum variety 'Esaul' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)

Наибольшее содержание подвижного фосфора находилось на уровне 19,5–20,8 мг/кг почвы в фазе всходов. В дальнейшем, по мере роста и его потребления растениями сорго, его содержание в почве снижалось, достигая минимального значения к фазе «полная спелость» до 15,3–17,0 мг/кг почвы.

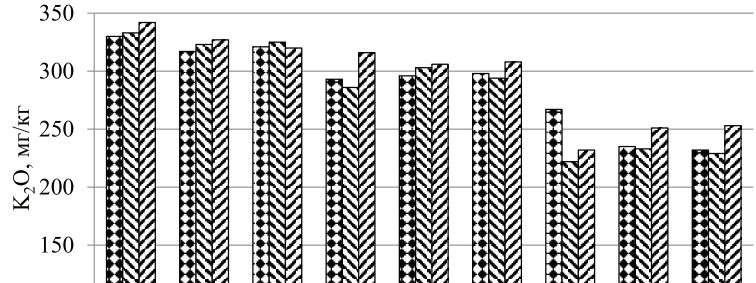
В течение вегетационного периода уровень содержания обменного калия колебался в пределах 222–347 мг/кг почвы и соответствовал в начале и середине вегетации сорго повышенному уровню, а к концу вегетационного периода – среднему, то есть растения не испытывали недостаток обменного калия в почве в течение всего роста и развития.

Содержание обменного калия в почве к фазе всходов находилось на уровне 318–347 мг/кг почвы. К полной спелости его содержание снижалось до 222–272 мг/кг почвы. Это также свидетельствует о том, что потребление калия из почвы на создание урожая сорго зернового продолжалось в течение всей вегетации растений (рис. 3).



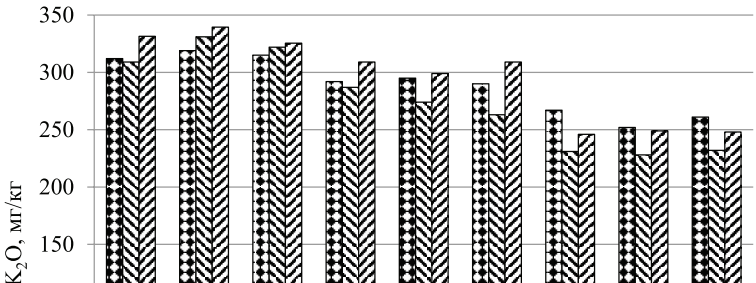
	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	347	338	333	291	292	284	272	268	259
2 срок	339	331	321	282	288	269	244	247	248
3 срок	335	320	318	273	271	251	233	230	237

Рис. 3, а. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления обменного калия растениями сорго зернового сорта Зерноградское 88 в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 3, a. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of exchangeable potassium consumption by the grain sorghum variety 'Zernogradskoe 88l' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)



	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	330	317	321	293	296	298	267	235	232
2 срок	333	323	325	286	303	294	222	233	229
3 срок	342	327	320	316	306	308	232	251	253

Рис. 3, б. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления обменного калия растениями сорго зернового сорта Атаман в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 3, b. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of exchangeable potassium consumption by the grain sorghum variety 'Ataman' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)



	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га	0,2 млн шт/га	0,3 млн шт/га	0,4 млн шт/га
	всходы			цветение			полная спелость		
1 срок	312	319	315	292	295	290	267	252	261
2 срок	309	331	322	287	274	263	231	228	232
3 срок	332	340	326	309	299	309	246	249	248

Рис. 3, с. Влияние сроков посева и норм высева на динамику потребления обменного калия растениями сорго зернового сорта Есаул в слое почвы 0–30 см (2022–2023 гг.)
Fig. 3, c. The effect of sowing dates and seeding rates on the dynamics of exchangeable potassium consumption by the grain sorghum variety 'Esaul' in the soil layer of 0–30 cm (2022–2023)

В условиях Ростовской области важнейшим фактором повышения урожайности сорго является влага, поступившая от осенне-зимних и весенних осадков.

От других культур сорго отличается способностью энергично прорастать в полусухой почве, используя для этого 40 % воды от собственного веса. Ранее была установлена положительная связь между запасами продуктивной влаги при посеве и урожайностью сорго зернового, а также определено, что наиболее высокая потребность в продуктивной влаге отмечается в фазу выметывания (r = 0,750±0,162) (Бельтюков, 2002).

Поэтому при оценке продуктивности сорго зернового в засушливой зоне большое значение имеет определение расхода продуктивной влаги на формирование урожайности зерна сорго зернового. Так, в первом сроке посева он находился в пределах 227,4–272,1 мм/га, 221,8–271,5 мм/га во втором сроке посева и 219,6–277,9 мм/га в третьем сроке посева. При этом расход продуктивной влаги на формирование 1 т зерна существенно изменялся и составлял 52,49–83,70 мм в первом сроке посева, 42,92–74,29 мм – во втором сроке посева, 47,06–68,19 мм – в третьем сроке посева (табл. 2).

Таблица 2. Суммарное водопотребление и расход влаги на формирование 1 т зерна сортами сорго (2022–2023 гг.)
Table 2. Total water consumption and moisture consumption to form 1 ton of grain by the sorghum varieties (2022–2023)

Срок посева	Норма высева, млн шт. всхожих семян/га	Суммарный расход влаги, мм/га			Расход влаги на формирование 1 т зерна, мм		
		Зерноградское 88	Атаман	Есаул	Зерноградское 88	Атаман	Есаул
1-й срок	0,2	231,7	246,8	236,4	70,41	69,85	83,70
	0,3	227,4	244,6	244,3	52,50	52,49	60,22
	0,4	251,7	272,1	260,8	53,96	54,31	58,52
2-й срок	0,2	236,3	256,2	262,5	60,80	64,05	74,29
	0,3	251,9	228,9	271,5	50,64	46,90	62,48
	0,4	254,6	221,8	268,9	48,42	42,92	56,51
3-й срок	0,2	268,8	219,6	235,5	68,19	49,94	64,49
	0,3	277,9	243,8	222,8	56,65	47,06	47,15
	0,4	270,4	249,6	244,5	50,94	48,67	52,36
Среднее		–	–	–	56,95	52,91	62,19
Стандартное отклонение		–	–	–	7,90	8,73	11,11

Наиболее высокий расход продуктивной влаги отмечался в первом сроке посева при норме высева 0,2 млн шт. всхожих семян/га, что было связано с тем, что растения сильно кустились и непродуктивно расходовали влагу на формирование зеленой массы подгонов.

При нормах высева 0,3 и 0,4 млн шт. всхожих семян/га отмечалось достоверное снижение расхода влаги во всех сроках посева (σ по сорту Зерноградское 88 составляло 7,90 мм, сорту Атаман – 8,73 мм, сорту Есаул – 11,11 мм).

Корреляционный анализ между суммарным расходом влаги и урожайностью выявил значимую среднюю положительную связь у сорта Зерноградское 88 (r = 0,57±0,17) и незначимую слабую отрицательную у сортов Атаман (r = -0,09±0,24) и Есаул (r = -0,20±0,23). Новые сорта зернового сорго Атаман и Есаул отличались меньшим расходом влаги на формирование урожайности во всех вариантах опыта в сравнении с сортом Зерноградское 88. Самый низкий расход влаги на 1 т зерна по этим сортам был при третьем сроке посева и норме высева 0,3 млн шт. всхожих семян на 1 га и составил соответственно Атаман – 47,06 мм и Есаул – 47,15 мм.

Как показали исследования, наиболее сильное влияние на формирование урожайности зерна сорго зернового оказывали нормы высева, где их доля составляла 59,9 %, а сорт и срок посева оказывали меньшее влияние на урожайность – 10,8 и 11,9 % соответственно.

В среднем за годы исследований наибольшая урожайность по всем изучаемым сортам и нормам высева (4,66 т/га) была получена при третьем сроке посева, что свидетельствует о том, что необходимо заделывать в хорошо прогретую почву, где создаются лучшие условия для роста и развития растений. При посеве во второй срок средняя урожайность снижалась до 4,53 т/га, и самая низкая была получена при первом сроке посева – 4,09 т/га (табл. 3)

В разрезе изучаемых сортов наибольшая средняя урожайность по всем вариантам опыта была получена по сорту Атаман – 4,66 т/га, средняя по сорту Зерноградское 88 – 4,51 т/га и самая низкая по сорту Есаул – 4,11 т/га.

Наименьшая урожайность отмечалась при норме высева 0,2 млн шт. всхожих семян/га, где растения сорго зернового формировали дополнительные непродуктивные побеги, из-за чего неэффективно расходовали пластические вещества, образовавшиеся в процессе фотосинтеза.

Таблица 3. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность зерна сортов сорго зернового, т/га (2022–2023 гг.)
Table 3. The effect of sowing dates and seeding rates on productivity of the grain sorghum varieties (2022–2023)

Сорт (фактор А)	Срок посева (фактор В)	Норма высева, млн шт. всхожих семян/га (фактор С)	2022	2023	Среднее
Зерноградское 88	1	0,2	3,07	3,52	3,29
		0,3	4,18	4,48	4,33
		0,4	4,54	4,80	4,67
	2	0,2	3,71	4,06	3,89
		0,3	4,69	5,26	4,97
		0,4	4,87	5,64	5,26
	3	0,2	3,80	4,09	3,94
		0,3	4,64	5,17	4,90
		0,4	4,90	5,72	5,31
Среднее по сорту			4,27	4,75	4,51
Атаман	1	0,2	3,61	3,45	3,53
		0,3	4,62	4,70	4,66
		0,4	4,76	5,26	5,01
	2	0,2	3,86	4,14	4,00
		0,3	4,64	5,12	4,88
		0,4	4,87	5,46	5,17
	3	0,2	4,30	4,50	4,40
		0,3	4,98	5,38	5,18
		0,4	4,85	5,40	5,13
Среднее по сорту			4,50	4,83	4,66
Есаул	1	0,2	2,48	3,16	2,82
		0,3	3,55	4,57	4,06
		0,4	4,00	4,91	4,46
	2	0,2	3,39	3,68	3,53
		0,3	4,12	4,57	4,34
		0,4	4,44	5,08	4,76
	3	0,2	3,54	3,77	3,65
		0,3	4,50	4,95	4,73
		0,4	4,37	4,97	4,67
Среднее по сорту			3,82	4,41	4,11
$НСР_{05}$ для частных различий			0,37		
$НСР_{05}$ по факторам А, В, С			0,12		
Среднее по сроку посева			1-й срок посева – 4,09		
			2-й срок посева – 4,53		
			3-й срок посева – 4,66		
Среднее по норме высева			0,2 млн шт. всхожих семян/га – 3,67		
			0,3 млн шт. всхожих семян/га – 4,67		
			0,4 млн шт. всхожих семян/га – 4,94		

Все изучаемые сорта по всем срокам посева формировали наибольшую урожайность зерна преимущественно при норме высева 0,4 млн шт. всхожих семян/га. Так, средняя урожайность по всем вариантам опыта здесь составляла 4,94 т/га; при норме высева 0,3 млн шт. всхожих семян/га – 4,67 т/га и при норме высева 0,2 млн шт. всхожих семян/га – 3,67 т/га. В этих вариантах опыта отмечалось достоверное превышение над урожайностью, полученной при наименьшей норме высева.

Выводы. Наибольшую урожайность зерна – 4,94 т/га все изучаемые сорта формировали в третьем сроке посева при достаточном прогревании почвы. Снижение урожайности на 0,27 и 1,27 т/га по сравнению с третьим сроком отмечалось соответственно во втором и первом сроках посева. В среднем по всем изучаемым сортам и срокам посева преимущество по урожайности было отмечено при норме высева 0,4 млн шт. всхожих семян/га – 4,66 т/га, при норме 0,3 млн шт. всхожих семян /га урожайность снижалась на 0,15 т/га и при норме 0,2 млн шт. всхожих семян/га – на 0,55 т/га.

Наиболее урожайным сортом по всем вариантам опыта был сорт Атаман – 4,66 т/га, несколько ниже Зерноградский 88 – 4,51 т/га и самая низкая урожайность была получена по сорту Есаул – 4,11 т/га.

Полученную в опытах урожайность сорта сорго зернового формировали при низком уровне содержания нитратного азота в пахот-

ном слое почвы, среднем уровне подвижного фосфора и повышенном – обменного калия.

Содержание элементов питания в слое почвы 0–30 см в большей степени зависело от фазы развития растений и в меньшей – от сроков посева и норм высева. Сортовых различий в усвоении элементов питания растениями сорго из почвы на формирование урожайности нами не установлено.

Наименьший расход влаги на формирование 1 т зерна изучаемых сортов сорго был при посеве их в третий срок – 47,06–68,19 мм, средним он был при втором сроке – 42,92–74,26 мм и самым большим при первом сроке – 52,49–83,70 мм, что особенно важно в условиях недостаточного увлажнения Ростовской области.

Библиографический список

1. Алабушев, А. В. Достижение в селекционной работе по созданию сортов и гибридов сорго в «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 44–48. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-44-48
2. Алабушев А. В., Ковтунов В. В., Кравченко Н. С., Лушпина О. А., Игнатьева Н. Г. Оценка новых сортов сорго зернового при использовании в хлебопечении // Вестник Воронежского государственного университета. 2017. № 3(54). С. 144–150.
3. Бельтюков, Л. П. Сорт, технология, урожай. Ростовн/Д.: ООО «Терра Принт», 2007. 160 с.
4. Биктимиров Р. А., Низаева А. А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов зернового сорго в условиях Республики Башкортостан // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 39–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43
5. Васильченко С. А., Метлина Г. В., Ковтунов В. В. Влияние сроков, способов посева и норм высева на продуктивность сорго зернового сорта Зерноградское 88 // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 91–96. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-91-96
6. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Биоразнообразие сорго // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5(59). С. 49–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-49-52
7. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Использование сорго сахарного в качестве источника питательных веществ для человека (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3(63). С. 3–9. DOI 10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9
8. Guo Y. Y., Tian S. S., Liu S. S., Wang W. G., Sui N. Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress // Photosynthetica. 2017. Vol. 56, P. 861–872. DOI: 10.1007/s11099-017-0741-0
9. Eren Ö., Huseyin H., Tatlı Ö. Sorgum (Sorghum Bicolor (L)) Biyokütlesinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ile Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi //European Journal of Science and Technology Special. 2021. Vol. 22(1), P. 195–203. DOI: 10.31590/ejosat.852286
10. Nasiyev B., Zhanatalapov N., Shibaikin V., Yancheva H. Adaptation of elements of Sudan grass cultivation technology to the conditions of dry steppe zone // Turkish Journal of Field Crops. 2020. Vol. 25(1), P. 57–65. DOI: 10.17557/tjfc.743681

References

1. Alabushev, A. V. Dostizhenie v selektsionnoi rabote po sozdaniyu sortov i gibridov sorgo v «ANTs «Donskoi» [Achievement in breeding work on developing sorghum varieties and hybrids in the “ARC “Donskoy”] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 2(68). S. 44–48. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-44-48
2. Alabushev A. V., Kovtunov V. V., Kravchenko N. S., Lushpina O. A., Ignat'eva N. G. Otsenka novykh sortov sorgo zernovogo pri ispol'zovanii v khlebopechenii [Estimation of new grain sorghum varieties for use in bread baking] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. № 3(54). S. 144–150.
3. Bel'tyukov, L. P. Sort, tekhnologiya, urozhai [Variety, technology, yield]. Rostov n/D.: OOO «Terra Print», 2007. 160 s.
4. Biktimirov R. A., Nizaeva A. A. Otsenka ekologicheskoi stabil'nosti i plastichnosti sortov zernovogo sorgo v usloviyakh Respubliki Bashkortostan [Estimation of environmental stability and adaptability of grain sorghum varieties in the Republic of Bashkortostan] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 1(73). S. 39–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43
5. Vasil'chenko S. A., Metlina G. V., Kovtunov V. V. Vliyanie srokov, sposobov poseva i norm vyseva na produktivnost' sorgo zernovogo sorta Zernogradskoe 88 [The effect of sowing dates and methods, and seeding rates on productivity of the grain sorghum variety ‘Zernogradskoye 88’] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 4. S. 91–96. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-91-96
6. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Bioraznoobrazie sorgo [Sorghum biodiversity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 5(59). S. 49–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-49-52
7. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Ispol'zovanie sorgo sakharnogo v kachestve istochnika pitatel'nykh veshchestv dlya cheloveka (obzor literatury) [The use of sweet sorghum as a source of nutrients for humans (literature review)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 3(63). S. 3–9. DOI 10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9
8. Guo Y. Y., Tian S. S., Liu S. S., Wang W. G., Sui N. Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress // Photosynthetica. 2017. Vol. 56, P. 861–872. DOI: 10.1007/s11099-017-0741-0
9. Eren Ö., Huseyin H., Tatlı Ö. Sorgum (Sorghum Bicolor (L)) Biyokütlesinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ile Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi // European Journal of Science and Technology Special. 2021. Vol. 22(1), P. 195–203. DOI: 10.31590/ejosat.852286

10. Nasiyev B., Zhanatalapov N., Shibaikin V., Yancheva H. Adaptation of elements of Sudan grass cultivation technology to the conditions of dry steppe zone // Turkish Journal of Field Crops. 2020. Vol. 25(1), P. 57–65. DOI: 10.17557/tjfc.743681

Поступила: 17.07.24; доработана после рецензирования: 17.09.24; 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. Васильченко С. А. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Метлина Г. В. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Копман И. К. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Ковтунов В. В. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 631.9:633:632.937.12:632.937.23 **DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-103-109**

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ НА ПОПУЛЯЦИИ ОСНОВНЫХ ЭНТОМОФАГОВ (ОБЗОР)

И. В. Балахнина, научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, balakhnina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2326-221X;
А. В. Пономарев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, ponomarev@fncbzr.ru, ORCID ID: 0000-0003-0514-5797;
О. Ю. Кремнева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, kremenoks@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0982-6821;
А. Ю. Нестерова, научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, sobina.a.u.c@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9965-4842;
Д. О. Лептягин, младший научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, techeas@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-0321-1537;
Е. Г. Снесарева, младший научный сотрудник лаборатории фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, greas23@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4617-3604
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», 350000, Россия, Краснодарский кр., г. Краснодар, п/о 39; e-mail: info@fncbzr.ru

Проведен анализ литературных данных по оценке влияния севооборотов на защиту зерновых и других сельскохозяйственных культур от комплекса доминантных вредителей с применением элементов ландшафтного конструирования. Сохранение биоразнообразия и активизация природных энтомофагов с увеличением их эффективности способствует стабилизации агроэкосистем. Установлено положительное влияние на продолжительность жизни и численность естественных врагов фитофагов при использовании посевов нектароносов и других приемов, в результате которых возможно сокращение обработок с применением химических пестицидов вплоть до полной их отмены без потери урожайности и качества продукции. Выяснено значение севооборотов в целях создания убежища для природных энтомофагов. Правильное планирование севооборотов относится к методам манипулирования средой обитания и может существенно увеличить эффективность энтомофагов для борьбы с вредителями, что особенно важно для органического земледелия. Научно обоснованный севооборот с включением различных приемов (посевы сортосмесей, нектароносов, краевых ловчих культур и др.) способствует стабилизации экологического состояния агроэкосистем, повышает уровень рентабельности агропроизводства и безопасности природной среды. Данная статья может представлять наибольший интерес для владельцев фермерских хозяйств и крупных товаропроизводителей.

Ключевые слова: *агроэкосистема, зерновые культуры, севооборот, энтомофаг, фитофаг, предшественник.*

Для цитирования: *Балахнина И. В., Пономарев А. В., Кремнева О. Ю., Нестерова А. Ю., Лептягин Д. О., Снесарева Е. Г. Влияние севооборотов на развитие энтомофагов (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 103–109. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-103-109.*

(cc) BY

THE EFFECT OF CROP ROTATION ON POPULATIONS OF MAJOR ENTOMOPHAGES (REVIEW)

I. V. Balakhnina, researcher, laboratories phytosanitary monitoring of agroecosystems, balakhnina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2326-221X;
A. V. Ponomarev, PhD, Senior researcher, laboratories phytosanitary monitoring of agroecosystems, ponomarev@fncbzr.ru, ORCID ID: 0000-0003-0514-5797;
O. Yu. Kremneva, PhD, Senior researcher, Head laboratory of phytosanitary monitoring of agroecosystems, kremenoks@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0982-6821;
A. Yu. Nesterova, researcher, laboratories phytosanitary monitoring of agroecosystems, sobina.a.u.c@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9965-4842;
D. O. Leptyagin, junior researcher, laboratories phytosanitary monitoring of agroecosystems, techeas@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-0321-1537;
E. G. Snesareva, junior researcher, laboratories phytosanitary monitoring of agroecosystems, greas23@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4617-3604
Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center of Biological Plant Protection» (FSBSI FRCBPP), 350000, Krasnodar, p/of. 39; e-mail: info@fncbzr.ru

The analysis of the literature data on the assessment of the impact of crop rotations on the protection of cereals and other crops from a complex of dominant pests using elements of landscape design is carried out. The conservation of biodiversity and the activation of natural entomophages with an increase in their efficiency

contributes to the stabilization of agroecosystems. There has been established a positive effect on the life expectancy and number of natural enemies of phytophages when using nectar crops and other methods, which make it possible to reduce chemical pesticide treatments up to their complete abolition without loss of productivity and product quality. There has been clarified the importance of crop rotations in creating a refuge for natural entomophages. Proper planning of crop rotations refers to methods of manipulating the habitat and can significantly increase the efficiency of entomophages in pest control, which is especially important for organic farming. Scientifically substantiated crop rotation with the inclusion of various methods (sowing of variety mixtures, nectar-bearing crops, marginal trapping crops, etc.) contributes to the stabilization of the ecological state of agroecosystems, increases the level of profitability of agricultural production and safety of the natural environment. The current paper may be of greatest interest to farmers and large commodity producers.

Keywords: *agroecosystem, grain crops, crop rotation, entomophage, phytophage, forecrop.*

Введение. Основной проблемой мирового сельского хозяйства является ограниченное выращивание числа различных культур, комплексное нарушение структуры почвы и бесконтрольное использование пестицидов в системах растениеводства, что в конечном итоге негативно влияет на биоразнообразие и стабилизацию агроэкосистем в целом (Yang et al., 2022).

В Российской федерации ведущей продовольственной культурой является пшеница, ежегодно возделываемая на значительных площадях – до 34 % пахотных земель. Качество зерна культуры и ее урожайность сильно зависят от деятельности вредных фитофагов. В регулировании численности вредителей на пшенице значительную роль играют их естественные враги, активизация и увеличение численности которых могут способствовать сокращению химических обработок вплоть до их отмены без потери качества урожая. При этом вопросы, связанные с изучением естественной биоценотической регуляции и воспроизводства полезных членистоногих, еще недостаточно изучены, особенно для органического земледелия, как в России, так и в других странах (Пушня и др., 2020).

Известно положительное влияние разнообразия растений на динамику популяций насекомых и полезных организмов. Методы конструирования среды обитания, такие как совмещение культур, посев нектароносов и другие приемы, могут значительно улучшить борьбу с вредителями, и наоборот, крупномасштабные монокультуры в сельском хозяйстве способствуют распространению и увеличению вредоносности насекомых-вредителей (He et al., 2019). Анализ литературных данных о влиянии различных факторов на численность и вредоносность фитофагов показал, что научно обоснованный севооборот с включением посевов сортосмесей, краевых ловчих или медоносных культур, а также правильное использование удобрений и направленных приемов на улучшение здоровья почвы и растений позволят стабилизировать экологическое состояние агроэкосистем, повысить безопасность окружающей природной среды и уровень рентабельности агропроизводства (Пушня и др., 2023). Отмечается, что в монокультурных ландшафтах нет источников пищи и укрытий, необходимых для выживания естественных врагов, что сказывается на их эффективности и малочисленности. Наличие видового разнообразия растений способствует активизации энтомофагов как естественного ресурса защиты растений, что позволяет уменьшать пестицидную нагрузку в агроценозе (Qian et al., 2021). Научно обоснованное конструирование среды обитания способствует привлечению и удержанию естественных врагов за счет увеличения плодовитости самок и срока жизни. Если использовать в агроценозах только расширение видов растительного сообщества, то может быть увеличена численность некоторых обычных видов природных врагов, однако видовое богатство и эффективность энтомофагов часто определяются составом ландшафта в целом. Промежуточный посев может создать благоприятный микроклимат для увеличения активности хищников и паразитоидов, препятствуя выживанию вредителей (Hussain et al, 2021).

Целью настоящего исследования являлся анализ литературных данных об использовании преимуществ севооборотов, их типов, конструирования агроландшафтов и других приемов для сохранения и активизации энтомофагов, регулирующих численность доминантных вредителей сельскохозяйственных культур, как в России, так и других странах. Использование различных возможностей обогащения агроландшафтов позволяет сократить пестицидную нагрузку для защиты урожая от вредителей и получить качественную продукцию за счет биоценотического регулирования численности фитофагов.

Результаты и их обсуждение. В настоящее время одной из важнейших хозяйственных, природоохранных и социальных проблем является использование природных резервов агроценозов для регулирования численности вредителей, что способствует уменьшению применения инсектицидов без потери урожая. Особенно это важно в условиях органического земледелия, где запрещается применение химических средств защиты растений. Для повышения эффективности природных энтомофагов необходимо учитывать много факторов, оказывающих влияние на изменение состава и структуры энтомокомплексов. Одними из важнейших являются состав культур, степень антропогенного воздействия на агроценозы. Наличие в севообороте зерновых культур многолетних трав приводит к формированию полидоминантного энтомокомплекса, оптимизации соотношения численности фито- и энтомофагов за счет активных миграций. При выращивании зерновых культур с че-

редованием посевов многолетних трав также повышается относительная численность и активизация хищников, обитающих в напочвенном ярусе агроценозов, среди которых доминируют представители семейства жужелиц (Carabidae). Кроме многолетних трав, в результате проведенных исследований выявлен ряд растений, способных поддерживать высокую численность хищников и паразитоидов и которые рекомендуется высевать для повышения эффективности защиты растений вместе с возделываемыми культурами. К таким культурам относятся гречиха, рапс, люцерна, эспарцет, клевер и др.; в полезащитных лесах желательно высаживать медоносные многолетние растения (черемуху, липу, клен, рябину, боярышник и др.); оставлять полосы при скашивании многолетних трав; использовать пищевые аттрактанты для привлечения энтомофагов; проводить селективную пестицидную обработку с учетом соотношения численности фитофагов и энтомофагов. В лесостепной зоне Поволжья наиболее перспективны севообороты с многолетними травами, позволяющие получить кормовые ресурсы и обеспечивающие восстановление плодородия почвы. В структуре посевных площадей хозяйств Поволжья рекомендуется увеличить долю паров и паровых земель с сидеральными удобрениями (не менее 60 % посевных площадей с озимыми зерновыми культурами), увеличить площади многолетних бобовых трав и зернобобовых смесей до 25 % пашни, а также смешанных и промежуточных культур (Toigildin et al., 2020).

В последнее время в агроландшафтах широко изучалось косвенное влияние полуестественных местообитаний на подавление вредителей, однако роль разнообразия сельскохозяйственных культур в подавлении вредителей хищниками в литературе встречается редко, особенно с использованием молекулярного анализа содержимого кишечника (MGCA). Кроме того, мало внимания уделялось различиям между влиянием сложности ландшафта на регулирование численности вредителей в начале и конце вегетативного сезона. В течение 2014 и 2015 годов исследовалось влияние сложности сельскохозяйственного ландшафта и разнообразия сельскохозяйственных культур на хищников злакового листоеда (пьявица, *Oulema melanoplus*) в начале сезона с использованием контрольных карт яиц и в конце сезона путем оценки хищничества личинок с использованием MGCA. Поедание яиц пьявицы в начале сезона и численность *Nabis americoferus* в конце сезона, и кокцинеллиды на пшеничных полях положительно коррелировали с количеством лесных местообитаний в этих ландшафтах. Анализ полученных данных показал, что разнообразие культур отрицательно ассоциировалось с частотой хищничества личинок в конце сезона и обилием *N. americoferus*. Разнообразие хищников и обилие личинок божьих коровок имели отрицательную связь с численностью пьявицы, что подчеркивает значительный вклад некоторых универсальных хищников в подавление этого фитофага. Результаты показали, что доля лесополос и нескольких основных сельскохозяйственных культур (например, рапса и незерновых культур), а не разнообразие сельскохозяйственных культур, связаны с более высоким уровнем хищничества в различных временных масштабах. В целом полученные данные показали, что стратегия управления средой обитания может быть реализована для корректировки севооборота при добавлении в ландшафт определенных видов разнообразных культур, обеспечивающих поддержку естественного контроля над пьявицей (Kheirodin et al., 2022).

Вопросы управления средой обитания как альтернативы снижения использования пестицидов в сельскохозяйственных экосистемах для регуляции численности вредных фитофагов в настоящее время являются актуальными. Зарубежными учеными проведен обзор литературы по нескольким исследовательским работам, связанным с этой темой, который показал, что эти методы дали более положительные результаты для популяций естественных врагов, чем для подавления вредителей. Успех управления средой обитания с целью снижения численности вредителей зависит главным образом от выбора некультурных видов растений в масштабе посевного поля, сложности ландшафта и целевых видов естественных врагов. Но среди этих факторов наиболее важным аспектом является сложность ландшафта окружающей полуестественной среды обитания, поскольку она может определять обилие естественных врагов в полевых условиях. Принятие мер по управлению средой обитания не получило широкого одобрения среди фермеров, и необходимы дополнительные исследования, чтобы показать им преимущества этих методов (Gómez-Cabezas et al., 2022).

Для оценки влияния разнообразия сельскохозяйственных культур на стабильность агроэкосистем были собраны результаты анализа 95 литературных источников, объединяющих 5156 экспериментов, проведенных за 84 экспериментальных года и представляющих более 54500 парных наблюдений с 120 видами сельскохозяйственных культур в 85 странах. Это позволило сделать вывод, что расширение видов растений в агроэкосистемах увеличивает не только производство сельскохозяйственных культур (средний эффект +14 %), но и связанное с этим биоразнообразие (+24 %, то есть биоразнообразие некультивируемых растений и животных), а также несколько процентов других экосистемных услуг, включая качество воды (+51 %), борьбу с вредителями и болезнями (+63 %) и плодородие почвы (+11 %). Однако наблюдались существенные различия в результатах для каждой отдельной экосистемной услуги между различными стратегиями, такими как агролесоводство, совмещение культур, покровные культуры, севооборот или смешение сортов. Увеличение разнообра-

зия видов или сортов возделываемых культур в агроэкосистемах представляет собой очень многообещающую стратегию более устойчивого управления земельными ресурсами, способствуя повышению урожайности, расширению биоразнообразия и экосистемных услуг, хотя эффективность их может быть различной (Beillouin et al., 2021). Например, использование аборигенных нектароносов, посеянных полосами на полях, может привлекать и поддерживать энтомофагов для биологической борьбы с насекомыми-вредителями в агроэкосистемах.

Существует множество способов составления цветочных смесей для привлечения и поддержания эффективности естественных врагов, посещающих цветы. Было проведено множество экспериментов в различных условиях с цветущими растениями, чтобы выбрать наиболее привлекательные из них. Использование цветущих смесей позволяло увеличить численность некоторых естественных врагов, например, журчалок (Diptera: Syrphidae), при этом не удавалось одновременно увеличить разнообразие хищников и паразитоидов. Лучшее понимание взаимодействия нектароноса и энтомофага стало возможным благодаря изучению влияния функциональных признаков цветка на поведение насекомых. Анализ показал, что разнообразие смесей нектароносов привлекает различные виды естественных врагов и также поддерживает их большую численность (Hatt et al., 2020).

Нектар может увеличивать продолжительность жизни и плодовитость многих видов имаго паразитоидов (природных врагов вредных фитофагов, регулирующих их численность и вредоносность), а, следовательно, повысить их эффективность, что важно для биологического контроля. Он может стать кормовой базой во время нахождения энтомофагов на участке с защищаемой культурой. Кроме обычного нектара, получаемого из цветов, существует более доступный для насекомых экстрафлоральный – выделяющийся из нектарных желез, находящихся за пределами цветка – на цветоножках, прилистниках, стеблях, листьях. Проводилось исследование, в котором паразиты тлей Diaeretiella rapae были выпущены на исследуемые участки с капустой (*Brassica napus* L.). Варианты опыта были заселены тлями *Brevicoryne brassicae* L. и *Vicia faba* L. и отличались посадками растений с экстрафлоральным нектаром (ЭФН) или без него. На участках с ЭФН наблюдалось больше паразитоидов, чем на участках без него. Эта численность может быть связана с более высокой привлекательностью комбинации двух стимулов: хозяина и пищи. Изучение численности меченых паразитоидов, повторно выпущенных для исследования, показало более высокое их удержание на участках, обеспечивающих ЭФН и хозяев, являясь доказательством, что пища, расположенная рядом с участком, заселенным хозяином, влияет на время пребывания энтомофагов на нем. И привлекательность, и удержание их на участках могут быть связаны с большим количеством паразитоидов, добывающих пищу на участках, окруженных нектаром, и с более высоким процентом заражения вредителей. Предоставление нектара как дополнительного корма на исследуемых вариантах также повлияло на распределение самок внутри участков (Jamont et al., 2014).

И. Г. Бокина изучала взаимодействие тлей и их афидофагов в агроценозах зерновых культур в лесостепи Западной Сибири. Наиболее массовыми видами тлей являлись черемухово-злаковая (*Rhopalosiphum padi*) и большая злаковая (*Sitobion avenae*) тли. На плотность их популяций в травостое зерновых и на черемухе влияли кокцинеллиды, сирфиды, клопы набиды и ориусы, имаго и личинки златоглазок. В течение вегетации в агроценозе озимой ржи златоглазки составляли от 1 до 30 % суммарной численности хищных энтомофагов, в агроценозе яровой пшеницы – от 9 до 44 %, овса – от 3 до 67 %. Из 12 видов златоглазок, встречавшихся в агроценозах зерновых культур, доминирующими выявлены *Chrysopa carnea* и *Ch. phyllochroma*. Установлено, что уровень химизации (при условии рационального использования инсектицидов), системы основной обработки почвы и предшественники не оказывали влияния на обилие имаго и личинок златоглазок в агроценозе яровой пшеницы. Не было обнаружено разницы в численности энтомофагов в годы невысокой плотности популяций златоглазок на пшенице по пару, на озимой ржи, овсе, викоовсе, рапсе, ячмене и ячмене с донником. В годы относительного обилия златоглазок достоверно больше их встречалось на посевах пшеницы после пара и посевах овса, отличающихся наибольшей заселенностью растений тлями. Численность златоглазок на люцерне во все годы исследований была в 2,0–2,8 раза выше, чем на пшенице после пара (Bokina, 2010).

Одним из особо опасных вредителей озимой пшеницы является клоп вредная черепашка *Eurygaster integriceps*, численность которой может успешно сдерживаться в полевых условиях за счет высокой эффективности яйцевых паразитоидов сем. Scelionidae, уничтожающих первые кладки клопа. Эта группа энтомофагов обитает не только на пшенице, но и на пропашных культурах. Одно из важнейших условий развития теленомин (Telenominae) – присутствие яиц их дополнительных хозяев в других стациях или разработанных кайромонно-подкормочных кормушках. Самые привлекательные культуры для дополнительных хозяев – подсолнечник и соя в период их бутонизации, посевы укропа и в меньшей степени медоносные зонтичные растения. Выживанию теленомин способствуют и нектароносные растения, обеспечивающие питанием имаго яйцеедов, а также места зимовки – краевые зоны лесополос с травянистой растительностью. Воспроизводство энтомофагов осуществляет-

ся за счет поддержания в структуре севооборота 37–40 % пропашных, нектароносных и энтомофильных культур. Заражение яиц вредной черепашки в экспериментальном севообороте ФГБНУ ФНЦБЗР составляло от 53 до 88 % яиц. Число личинок клопа, отродившихся из незараженных яиц, не превышало в среднем 2,1 экз./м^2, что позволило полностью отказаться от химических обработок против этого вредителя (Shirinyan et al., 2018).

В 2014–2019 гг. в Центральной и Предгорной зонах Краснодарского края проводили исследования с целью изучения регулирующей роли энтомофагов вредителей озимой пшеницы и определения их как природного ресурса для ее защиты от вредных членистоногих. Благодаря наличию в изучаемых агроэкосистемах нектароносов и пропашных культур были созданы условия для активизации и воспроизводства яйцеедов теленомусов – естественных врагов клопа вредной черепашки. В органическом земледелии при выращивании озимой пшеницы основную роль в регуляции численности экономически важных вредителей играют природные популяции естественных врагов (Пушня и др., 2020).

Хорошо известно, что увеличение разнообразия растений в агроэкосистемах усиливает естественное подавление вредителей, однако надежное предсказание того, какие методы управления несельскохозяйственными культурами лучше всего поддерживают естественных врагов, остается проблемой. В то же время численность среди хищников и эффективность биоконтроля могут быть поставлены под угрозу из-за доминирующих членистоногих адвентивных видов, которые получают дополнительную выгоду от разнообразия, не связанного с сельскохозяйственными культурами. Исследование влияния биоразнообразия на эффективность и численность естественных врагов проводили на посевах кабачков на 37 органических фермах. Ни богатство растений-медоносов, ни разнообразие сорняков не повлияли на численность аборигенных насекомых-хищников. Вместо этого численность инвазивного хищника, красного огненного муравья (*Solenopsis invicta* Buren), увеличивалась с увеличением разнообразия цветочных ресурсов, что отрицательно влияло на численность и эффективность неинвазивных природных хищников. Эти результаты показывают, что разнообразие флоры может быть менее надежным показателем увеличения разнообразия естественных врагов, когда вмешиваются инвазивные хищники. Рекомендации по управлению средой обитания для улучшения служб биоконтроля должны учитывать и потенциально смягчать непредвиденные последствия предоставления цветочных ресурсов на фермах, где доминируют инвазивные хищники (Sparer et al., 2023).

Выводы. Анализ литературных данных показал, что научно обоснованный севооборот позволяет стабилизировать экологическое состояние агроэкосистем, повысить безопасность окружающей природной среды, но вместе с чередованием культур необходимы различные методы для изменения агроландшафта и биоразнообразия необходимых для накопления и активизации природных энтомофагов. Несмотря на имеющиеся положительные результаты по данному направлению, многие вопросы остаются малоизученными. Например, в некоторых случаях эффективность от тех или иных приемов была довольно низкой, что требует пристального внимания и проведения дальнейших экспериментов. Проведенные исследования подтверждают возможность долговременной биоценотической регуляции численности опасных вредителей зерновых и других полевых культур. Увеличение видового разнообразия растений, и особенно посевы нектароносов, способствует увеличению и активизации природных энтомофагов, что позволяет сокращать применение химических средств защиты растений вплоть до полной их отмены.

Финансирование. Исследование выполнено в соответствии с Государственным заданием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы по теме FGRN-2023-0005 при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня Межрегионального научно-образовательного центра Юга России Волгоградской области, Краснодарского края и Ростовской области в рамках мероприятия № 2.1.9.

Библиографический список

1. Пушня М. В., Балахнина И. В., Кремнева О. Ю., Нестерова (Собина) А. Ю., Снесарева Е. Г. Севооборот как способ увеличения биоразнообразия в агроэкосистемах, регулирования численности вредных фитофагов // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, № 2. С. 113–126. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-113-126

2. Пушня М. В., Родионова Е. Ю., Снесарева Е. Г., Исмаилов В. Я. Регулирующая роль энтомофагов доминантных вредителей озимой пшеницы в системах органического земледелия // Достижения науки и техники АПК. 2020. Vol. 34, № 7, P. 49–55. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10708

3. Beillouin D., Malézieux E., Ben-Ari T., Seufert V., Makowski D. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services // Global Change Biology. 2021. Vol. 27, № 19. P. 4697–4710. DOI: 10.1101/2020.09.30.320309

4. Bokina, I. G. Golden-eyed flies (Chrysopidae, Neuroptera) in grain agrocenoses of the forest-steppe of Western Siberia // Entomological Review. 2010. Vol. 90, P. 689–697.

5. Hatt S., Francis F., Xu Q., Wang S., Osawa N. Perennial Flowering Strips for Conservation Biological Control of Insect Pests: From Picking and Mixing Flowers to Tailored Functional Diversity // Part of the Progress in Biological Control book series. 2020. Vol. 20, P. 57–71. DOI: 10.1007 / 978-3-030-44838-7_4

6. He H., Liu L., Munir S., Bashir N., Wang Y., Yang J., Li C. Crop diversity and pest management in sustainable agriculture // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18, P. 1945–1952. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62689-4
7. Hussain T., Kumawat P. K., Hussain R., Reena A. Habitat Manipulation – A Tool to Manage Insect Pests // Indian Journal of Entomology, 2021. Vol. 84, № 3. P. 737–742. DOI: 10.55446/IJE.2021.95
8. Jamont M., Dubois-Pot C., Jaloux B. Nectar provisioning close to host patches increases parasitoid re-cruitment, retention and host parasitism. // Basic and Applied Ecology, 2014. Vol. 15, P. 151–160. DOI: 10.1016/j.baae.2014.01.001
9. Gómez-Cabezas M., Romero M.-J., Prado J. Key general aspects to be considered in habitat management: a review // International Journal of Agriculture and Environmental Research. 2022. Vol. 8. P. 723–737. DOI: 10.51193/IJAER.2022.8602
10. Kheirodin A., Cárcamo H., Sharanowski B., Costamagna A. Crop diversity increases predator abundance but not predation on cereal leaf beetles in agricultural landscapes. // Journal of Pest Science. 2022. Vol. 95, P. 1091–1110. DOI:10.1007/s10340-021-01454-4
11. Shirinyan Zh., Pushnya M., Rodionova O., Snesareva E., Ismailov V. Restoration of biocenotic regulation in grain crops using natural production of natural entomophages // Agricultural Biology. 2018. Vol. 53, № 5. P. 1070–1079. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.1070rus
12. Sparer A., Madden M., Blubaugh C. Flower diversity on organic farms increases invasive ants rather than non-invasive natural enemies // Agricultural and Forest Entomology. 2023. Vol. 26, P. 159–170. DOI: 10.1111/afe.12603
13. Toigildin A., Morozov V., Podsevalov M., Ayupov D., Toigildina I., Mustafina R. Factors of biologization of farming in the forest-steppe zone of Volga region / Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 432017 Ulyanovsk, Russia BIO Web Conf. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” 2020. Vol. 17, P. 1–7. DOI: 10.1051/bioconf/20201700173
14. Qian P., Bai Y., Zhou W., Yu H., Zhu Z., Wang, G., Quais M.K., Li F., Chen Y., Tan Y., Shi X., Wang X., Zhong X., Zhu Z.-R. Diversified bund vegetation coupled with flowering plants enhances predator population and early-season pest control // Environmental entomology. 2021. Vol. 50, № 4. P. 842–851. DOI: 10.1093/ee/nvab027
15. Yang R., Qi Y., Yang L., Chen T., Zhang J., Song Z., Ge B. Rotation regimes lead to significant differences in soil macrofaunal biodiversity and trophic structure with the changed soil properties in a rice-based double cropping system // Geoderma. 2022. Vol. 405, Article number: 115424. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115424

References

1. Pushnya M. V., Balakhnina I. V., Kremneva O. Yu., Nesterova (Sobina) A. Yu., Snesareva E. G. Sevooborot kak sposob uvelicheniya bioraznoobraziya v agroekosistemakh, regulirovaniya chislennosti vrednykh fitofagov [Crop rotation as a way to improve biodiversity in agroecosystems, regulate the number of harmful phytophages] // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. 2023. T. 18, № 2. S. 113–126. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-113-126
2. Pushnya M. V., Rodionova E. Yu., Snesareva E. G., Ismailov V. Ya. Reguliruyushchaya rol' entomofagov dominantnykh vreditelei ozimoi pshenitsy v sistemakh organicheskogo zemledeliya [Regulatory role of entomophages of dominant pests of winter wheat in organic farming systems] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. Vol. 34, № 7. P. 49–55. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10708
3. Beillouin D., Malézieux E., Ben-Ari T., Seufert V., Makowski D. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services // Global Change Biology. 2021. Vol. 27, № 19. P. 4697–4710. DOI: 10.1101/2020.09.30.320309
4. Bokina, I. G. Golden-eyed flies (Chrysopidae, Neuroptera) in grain agrocenoses of the forest-steppe of Western Siberia // Entomological Review. 2010. Vol. 90, P. 689–697.
5. Hatt S., Francis F., Xu Q., Wang S., Osawa N. Perennial Flowering Strips for Conservation Biological Control of Insect Pests: From Picking and Mixing Flowers to Tailored Functional Diversity // Part of the Progress in Biological Control book series. 2020. Vol. 20, P. 57–71. DOI: 10.1007 / 978-3-030-44838-7_4
6. He H., Liu L., Munir S., Bashir N., Wang Y., Yang J., Li C. Crop diversity and pest management in sustainable agriculture // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18, P. 1945–1952. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62689-4
7. Hussain T., Kumawat P. K., Hussain R., Reena A. Habitat Manipulation - A Tool to Manage Insect Pests // Indian Journal of Entomology, 2021. Vol. 84, № 3. P. 737–742. DOI: 10.55446/IJE.2021.95
8. Jamont M., Dubois-Pot C., Jaloux B. Nectar provisioning close to host patches increases parasitoid re-cruitment, retention and host parasitism. // Basic and Applied Ecology, 2014. Vol. 15, P. 151–160. DOI: 10.1016/j.baae.2014.01.001
9. Gómez-Cabezas M., Romero M.-J., Prado J. Key general aspects to be considered in habitat management: a review // International Journal of Agriculture and Environmental Research. 2022. Vol. 8, P. 723–737. DOI: 10.51193/IJAER.2022.8602
10. Kheirodin A., Cárcamo H., Sharanowski B., Costamagna A. Crop diversity increases predator abundance but not predation on cereal leaf beetles in agricultural landscapes. // Journal of Pest Science. 2022. Vol. 95, P. 1091–1110. DOI: 10.1007/s10340-021-01454-4
11. Shirinyan Zh., Pushnya M., Rodionova O., Snesareva E., Ismailov V. Restoration of biocenotic regulation in grain crops using natural production of natural entomophages // Agricultural Biology. 2018. Vol. 53, № 5. P. 1070–1079. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.1070rus

12. Sparer A., Madden M., Blubaugh C. Flower diversity on organic farms increases invasive ants rather than non-invasive natural enemies // Agricultural and Forest Entomology. 2023. Vol. 26, P. 159–170. DOI: 10.1111/afe.12603

13. Toigildin A., Morozov V., Podsevalov M., Ayupov D., Toigildina I., Mustafina R. Factors of biologization of farming in the forest-steppe zone of Volga region / Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 432017 Ulyanovsk, Russia BIO Web Conf. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” 2020. Vol. 17, P. 1–7. DOI: 10.1051/bioconf/20201700173

14. Qian P., Bai Y., Zhou W., Yu H., Zhu Z., Wang, G., Quais M.K., Li F., Chen Y., Tan Y., Shi X., Wang X., Zhong X., Zhu Z.-R. Diversified bund vegetation coupled with flowering plants enhances predator population and early-season pest control // Environmental entomology. 2021. Vol. 50, № 4. P. 842–851. DOI: 10.1093/ee/nvab027

15. Yang R., Qi Y., Yang L., Chen T., Zhang J., Song Z., Ge B. Rotation regimes lead to significant differences in soil macrofaunal biodiversity and trophic structure with the changed soil properties in a rice-based double cropping system // Geoderma. 2022. Vol. 405, Article number: 115424. DOI: 10.1016/j.geoderma.2021.115424

Поступила: 14.08.24; доработана после рецензирования: 09.09.24; принята к публикации: 09.09.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кремнева О. Ю. – концептуализация исследования, редактирование рукописи; Балахнина И. В. – подготовка рукописи; Пономарев А. В. – анализ данных и их интерпретация; Нестерова А. Ю. – сбор данных; Лептягин Д. О. – сбор данных; Снесарева Е. Г. – сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 631.52(091):632.938.1:633.1 DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-110-116

ПУТИ РАЗВИТИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ИММУНИТЕТА ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

Т. Г. Дерова, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;
Н. В. Шишкин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, nik.shiskin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В данной статье прослежено развитие научных исследований по защите растений на протяжении 115 лет и история создания и функционирования лаборатории иммунитета с 1974 г. (50 лет) в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «АНЦ «Донской». Приведены работы специалистов по защите растений и иммунитету, начинавших исследования по этому направлению с начала прошлого века и до второй его половины, – Ческиса Ф. Н., Деянова И. Г., Щеголева В. Н., Макаровой В. А., Проничевой Л. Л, Чалой В. А. и др. С учетом иммунологических характеристик в условиях инфекционных фонов болезней сортов и родительских форм создавались новые сорта зерновых культур, сочетающие высокую продуктивность с устойчивостью к комплексу местных популяций основных болезней и слабо повреждаемых вредителями. Руководителями созданной в 1974 г. лаборатории иммунитета и защиты растений были Георгиевская Н. А., Деров А. И., Дерова Т. Г., Шишкин Н. В. (руководит в настоящее время). На полевом участке создавались инфекционные фоны болезней и фоны высокой численности вредителей как по общепризнанным методам, так и по новым, разработанным сотрудниками лаборатории, на которых изучалось до 25–30 тыс. образцов различных культур ежегодно. Сотрудниками были разработаны методы создания фонов высокой численности вредителей, усовершенствованы и предложены более простые и точные методы учетов насекомых. Для учета личинок вредной черепашки был разработан и предложен удобный производительный экран-собиратель, а также методы учета трипсов с применением пробирок и полиэтиленовых пакетов и способы определения поврежденного вредителями зерна пшеницы и ячменя. В разные годы проводили изучение кукурузы, многолетних трав, гороха, сои, риса на устойчивость к болезням и вредителям. Выделеные устойчивые сорта и образцы передавались селекционерам для включения в селекционные программы на иммунитет. Многие сотрудники являются соавторами созданных сортов различных культур.

Ключевые слова: *иммунитет, защита растений, вредители, болезни, озимая пшеница и ячмень.*

Для цитирования: *Дерова Т. Г., Шишкин Н. В. Пути развития и становления лаборатории иммунитета в АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 110–116. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-110-116.*

(cc) BY

DEVELOPMENT AND ESTABLISHMENT OF THE LABORATORY FOR PLANT IMMUNITY OF THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

T. G. Derova, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;
N. V. Shishkin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, nik.shiskin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented the stages of the development on plant protection study over 115 years and the history of the establishing and functioning of the laboratory for plant immunity since 1974 (50 years) at the Federal State Budgetary Scientific Institution “ARC “Donskoy”. There has been presented the papers of such specialists in plant protection and immunity as Cheskis F. N., Deyanov I.G., Shchegolev V. N., Makarova V. A., Pronicheva L. L., Chala V. A. and others, who began their research from the beginning of the last century till its second half. Taking into account the immunological characteristics in conditions of infectious disease backgrounds of varieties and parental forms, there have been developed new grain varieties, combining high productivity with resistance to a complex of local populations of the main diseases and strong immunity to pests. The heads of the laboratory for plant immunity and protection set up in 1974 were Georgievskaya N. A., Derov A. I., Derova T. G., Shishkin N. V. (who is a current head). In the field plot there were formed infectious disease backgrounds and backgrounds with high pest numbers using both generally accepted methods and new ones developed by the laboratory staff, where there were studied up to 25–30 thousand samples of various crops annually. The staff developed methods for forming backgrounds with high pest numbers, there were improved and proposed simpler and more accurate methods for insect counts. In order to estimate the number of corn bug larvae, there was developed and proposed a convenient productive screen-collector, as well as methods for accounting for corn thrips using test tubes and plastic bags and methods for identifying wheat and barley grain damaged by pests. In different years, there were studied such crops as maize, perennial grasses, peas, soybeans, and rice for resistance to diseases and pests. The identified resistant varieties and samples were given to breeders for using them in breeding programs for immunity. Many employees are co-authors of the developed varieties of various crops.

Keywords: *immunity, plant protection, pests, diseases, winter wheat and barley.*

Введение. Сельское хозяйство дореволюционной России терпело колоссальные убытки от болезней и вредителей сельскохозяйственных культур. Мелкие хозяйства практически были беспомощны против этой проблемы. После революции советское государство уделяло большое внимание защите посевов, и в 1918 г. при Народном комиссариате земледелия РСФСР был создан отдел по защите растений (ОЗР), а во многих областях и краях – станции защиты растений (Иванова, 1972).

Назрела необходимость обобщения крестьянского опыта, многолетних наблюдений в борьбе с вредителями и болезнями и изучение их путем проведения научных опытов и разработки мер защиты. Как следствие, уже в 1919 г. был создан научный институт удобрений, а позже в нем открылась лаборатория по химической защите растений (НИУИФ – научно-исследовательский институт удобрений и инсектофунгицидов). Первую тысячу тонн ядохимикатов сельское хозяйство получило в 1924 г. ровно столетие назад.

Для подготовки специалистов по защите растений в 1919 г. при Московской сельскохозяйственной академии были организованы двухгодичные курсы по прикладной энтомологии и зоологии, а в 1922 г. в Петрограде был создан институт зоологии и фитопатологии. Также были открыты факультеты защиты растений в некоторых сельскохозяйственных вузах. Для усиления научных исследований в 1929 г. организуется Всесоюзный институт защиты растений с его периферийной сетью станций.

Как известно, одним из направлений для повышения урожая с.-х культур является снижение конкуренции со стороны болезней, вредителей и сорных растений. Потери урожая при отсутствии защитных мероприятий могут достигать 70 % (Слободчиков, 2020).

Создание устойчивых к болезням и вредителям сортов с.-х культур – одно из сложных направлений селекционных программ. Болезни, например, имеют огромный потенциал изменчивости, что в сочетании с огромной способностью к размножению обеспечивает высокие приспособительские возможности. Создание нового селекционного материала невозможно при отсутствии постоянного фитопатологического контроля за спектром и развитием наиболее вредоносных болезней. Для производителей продукции устойчивые сорта не вызывают дополнительных финансовых вложений, а в последние годы они являются обязательным элементом органического земледелия (Воронов, 2019).

Результаты и их обсуждение. На Дону работы по изучению сорной растительности были начаты на Ростово-Нахичеванской опытной станции под руководством Федора Наумовича Ческиса (1912–1921 гг.). Основной тематикой было изучение биологии злостных в те времена сорняков: осота, пырея, видов мышея (Ческис, 1913).

На Северо-Кавказской зональной станции эти работы продолжил Иван Григорович Деянов (1936 г.), а затем кандидат сельскохозяйственных наук Вера Антоновна Макарова, долгие годы (1934–1964 гг.) проработавшая на Зерноградской опытной станции. Она внесла огромный вклад в изучение мер борьбы с сорняками с помощью гербицидов (Макарова, 1945, 1960; Деянов и Макарова, 1949).

В 1940-е годы (до войны и после) под руководством В. А. Макаровой была проведена огромная работа в масштабах Ростовской области: составлена карта сорной растительности и собран богатейший гербарий сорных растений. В 50-е годы она, первая в стране, проводила исследования по изучению видов гербицидов, способов, сроков и дозировок их применения на зерновых культурах (рис. 1).

Рис. 1. Вера Антоновна Макарова
Fig. 1. Vera Antonovna Makarova

В эти же годы на Северо-Кавказской опытной станции работала энтомолог Ольга Степановна Морошкина, которая изучала биологию, вредоносность и меры борьбы с вредителями озимого и ярового ячменя, а также с вредителями люцерны (Морошкина и Акимова, 1939). Против основного вредителя зерна клопа вредной черепашки в эти годы использовали слабо эффективные приемы, но с выявлением теленомуса – яйцееда черепашки был разработан метод размножения его в хатах – лабораториях с последующим выпуском его на поля пшеницы, что значительно снижало численность вредителя (рис. 2).

Рис. 2. Ольга Степановна Морошкина
Fig. 2. Olga Stepanovna Moroshkina

В лаборатории энтомологии долгие годы (1951–1962 гг.) проводил исследования Павел Васильевич Виноградов, который разработал методы учета и прогнозирования вредных насекомых на зерновых и кормовых культурах. Он проводил оценку пшеницы и ячменя на устойчивость к пилильщику и пьявице и часто оказывал помощь по защите растений в колхозах и совхозах (Вилкова и Виноградов, 1934).

Опустошительные эпифитотии ржавчины, головневых и других болезней озимой пшеницы требовали эффективных мер борьбы с ними. Поэтому в 1933 г. была организована лаборатория фитопатологии, которой руководила до 1957 г. кандидат сельскохозяйственных наук Лидия Леонидовна Проничева (рис. 3).

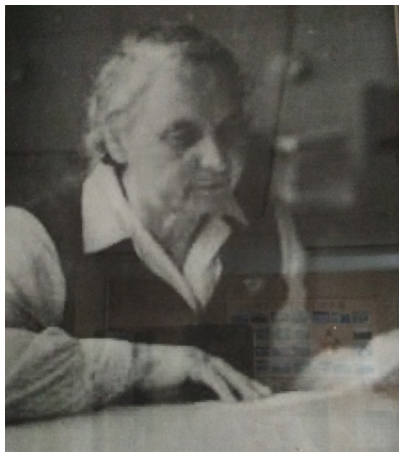


Рис. 3. Лидия Леонидовна Проничева
Fig. 3. Lidiya Leonidovna Pronicheva

Фитопатолог по специальности, она изучала виды болезней на зерновых и кормовых культурах, уделяла внимание выявлению устойчивых сортов озимой и яровой пшеницы к видам ржавчины, головне, септориозу, корневым гнилям. Она также разработала метод замены 2-фазного термического обеззараживания семян против головни на однофазное, что было значительно экономичнее и производительнее. Работы Л. Л. Проничевой – заметный вклад в изучение болезней и способов борьбы с ними.

В 1960-х гг. происходит уменьшение вспомогательных лабораторий, и группа защиты растений остается в составе двух сотрудников (энтомолог и фитопатолог) и двух лаборантов. Валентина Александровна Чалая (1949–1974 гг.), молодой агроном, окончила в 1949 г. Ростовский университет по специальности биолог-зоолог-энтомолог и поступила в лабораторию защиты растений, где, работая вместе с Л. Л. Проничевой, получила ценнейший опыт работы по этому направлению (рис. 4).

Группа сотрудников во главе с В. А. Чалой оценивали озимую пшеницу к трем видам ржавчины, мучнистой росе; озимый и яровой ячмень оценивался к пяти болезням в естественных условиях. В условиях искусственного заражения сорта пшеницы и ячменя изучались на устойчивость к видам головни. Селекционный материал пшеницы и ячменя из конкурсных, предварительных испытаний и контрольного питомника оценивали на повреждение красногрудой пьявицей (в поле) и хлебными пилильщиками (анализировался сноповой материал в осеннее и зимнее время).

Рис. 4. Анализ растений на болезни (слева направо): В. А. Чалая, Л. Г. Доскач, Е.П. Глушко, В.М. Гришина, 1973 год
Fig. 4. Plants' analysis for diseases (from left to right) V. A. Chalaya, L. G. Doskach, E. P. Glushko, V. M. Grishina, 1973

Проводя оценки на опытных делянках, Валентина Александровна часто выезжала для обследования посевов в производстве, консультировала агрономов и специалистов сельхозпредприятий по вопросам защиты растений.

Селекционеры станции, получая данные о чувствительности сортов и образцов к вредителям и болезням, своевременно корректировали планы гибридизаций. В этот период был районирован первый высокоурожайный зимостойкий сорт озимой пшеницы Донская безостая, увеличение урожайности которой академик И. Г. Калиненко объяснял прежде всего высокой устойчивостью к бурой ржавчине и пыльной головне (Калиненко, 1987). Селекционеры по достоинству оценили работу В. А. Чалой – одной из первых фитопатологов в Советском Союзе она была включена в соавторы четырех сортов пшеницы и ячменя, три из которых были районированы: Донская остистая (озимая пшеница), Зерноградский 73 (яровой ячмень), Паллидум 198 (озимый ячмень). Она награждена тремя медалями ВДНХ и медалью к 100-летию В. И. Ленина «За доблестный труд». В 1972 г. В. А. Чалая была переведена на должность зам. директора по научной работе. А с 1974 по 1981 г. работала ученым секретарем Донского селекцентра.

Н. И. Вавилов писал, что среди мер защиты растений от различных заболеваний и вредителей наиболее радикальным средством борьбы является введение в культуру иммунных сортов или создание таковых путем скрещиваний (Захаренко, 2019). Еще раннее основоположник фитоиммунитета в России А. А. Ячевский считал,

что центр тяжести всей практической фитопатологии лежит именно в устойчивости, а всякие лечебные свойства лишь паллиативны и вспомогательные способы борьбы (Дмитриев, 2013).

В 1975 г. перед научными учреждениями страны были поставлены задачи повышения эффективности научных исследований и скорейшего внедрения их в производство. Одним из таких научных центров являлся селекцентр Донского НИИСХ, созданный на базе Зерноградской селекционной станции этого института. В зону его деятельности была включены Ростовская область и Калмыцкая АССР.

К 70-м гг. прошлого столетия, несмотря на успешное развитие химических мер борьбы с вредными организмами, ученые пришли к выводу, что селекция устойчивых к патогенам сортов сельскохозяйственных культур является экологически безопасным и экономически выгодным способом защиты растений. В этот период при селекционных центрах организовываются лаборатории или группы устойчивости (иммунитета) по изучению создаваемых сортов к наиболее вредоносным болезням и вредителям в условиях инфекционных и провокационных фонов. Использование таких фонов позволяет получить достоверные оценки сортов и линий даже в годы депрессии и болезней в естественных условиях, что ускоряет процесс селекции устойчивых сортов.

В Донском селекцентре (в настоящее время ФГБНУ «АНЦ «Донской») такая лаборатория была организована в 1974 г., руководить которой пригласили Наталью Андреевну Георгиевскую (рис. 5).

Рис. 5. Наталья Андреевна Георгиевская
Fig. 5. Nataliya Andreevna Georgievskaya

Наталья Андреевна проявила огромную инициативу в организации научно-исследовательских работ во вновь созданной лаборатории. Был разработан расширенный план работ, рабочая программа создания инфекционных и провокационных фонов по культурам.

Н. А. Георгиевская вела раздел темы по изучению устойчивости озимой пшеницы к трем видам ржавчины (бурой, желтой и стеблевой), мучнистой росе, пыльной и твердой головне в условиях искусственного заражения сортов и сортообразцов (Калиненко и др., 1978). В зимний период в небольшой теплице проводили оценку пшеницы и ячменя к видам ржавчины в фазе проростка.

Первыми научными сотрудниками лаборатории иммунитета были А. П. Показеева, Г. П. Огерчук, А. Н. Заложных, С.Н. Кищенко, Г. И. Кищенко, З. Г. Пришутова.

Галина Петровна Огерчук оценивала ячмень к пяти наиболее вредоносным болезням: мучнистой росе, карликовой ржавчине, гельминтоспориозам, пыльной и каменной головне. В результате были выделены сорта и образцы как устойчивые к одной болезни, так и с групповой устойчивостью к 2–3-м болезням, которые вовлекались селекционерами в новые скрещивания. Она является соавтором сортов ячменя Силуэт, Простор, Тан 1, Зерноградский 385, в различных изданиях самостоятельно и в соавторстве ею опубликовано 15 статей (Огерчук, 1984). С августа 1983 г. до 1988 г. она исполняла обязанности ученого секретаря Донского селекцентра.

Полученные данные инфекционных фонов и фонов высокой численности вредителей помогали селекционерам проводить целенаправленный отбор лучших по иммунитету линий и гибридов для создания более стрессоустойчивых сортов различных культур.

В те годы в коллективе работали на должности лаборантов Л. Г. Доскач, Э. И. Чудновская, Т. Н. Гавриленко, Г. Н. Кущ, З. Н. Лукьянова; рабочие Е. К. Морозова, В. М. Гришина, Л. А. Семкина, Т. И. Михайлова, О. Ф. Чумакова. Опытные и ответственные старшие рабочие и. М. Зборовский, а затем Н. Т. Литунов отвечали за гужевой транспорт и полевой инвентарь лаборатории.

С января 1979 г. по приглашению администрации Донского селекцентра лабораторию иммунитета возглавил опытный ученый энтомолог-иммунолог, кандидат биологических наук Анатолий Иванович Деров (1979–2013 гг.) (рис. 6).

Рис. 6. Анатолий Иванович Деров
Fig. 6. Anatoly Ivanovich Derov

По энтоиммунитету А. И. Деровым проводились исследования по изучению устойчивости пшеницы и ячменя к основным вредителям, наиболее вредоносным в Ростовской области – вредной черепашке, хлебным пилильщикам, красногрудой пьявице, тлям, пшеничному трипсу.

Вместе с ним по окончании факультета «Защита растений» Ленинградского СХИ поступила на должность сотрудника по фитопатологии Татьяна Григорьевна Дерова. Занимаясь научными исследованиями, Деровы много времени уделяли помощи и консультированию при проведении защитных мероприятий на производственных посевах сельскохозяйственных культур. Выступали с докладами на совещаниях различного уровня, читали лекции на учебных мероприятиях (рис. 7).

Рис. 7. Анатолий Иванович Деров и Татьяна Григорьевна Дерова
Fig. 7. Anatoly Ivanovich Derov and Tatiyana Grigoryevna Derova

Анатолием Ивановичем и Татьяной Григорьевной в лаборатории были разработаны и широко использовались новые способы создания инфекционных фонов листовых болезней пшеницы и ячменя. Были разработаны методы создания фонов высокой численности основных вредителей, усовершенствованы и предложены более простые и точные методы учетов насекомых. Для учета личинок вредной черепашки А. И. Деровым был разработан и предложен удобный производительный экран-собиратель, предложены методы учета трипсов с применением пробирок и полиэтиленовых пакетов, разработаны способы определения поврежденного вредителями зерна пшеницы и ячменя (Деров, 1992).

В период 2008–2014 гг. руководила лабораторией иммунитета и защиты растений Татьяна Григорьевна Дерова. Она проводила исследования по устойчивости озимой пшеницы к болезням в течение 45 лет. Татьяна Григорьевна внесла большой вклад в повышении устойчивости к комплексу основных болезней создаваемых сортов озимой пшеницы зерноградской селекции. Так, если в начале 1980-х гг. только 10–15 % сортов конкурсных испытаний проявляли устойчивость к бурой ржавчине, то в 2000-х они составляли 85–90 %. Оценка селекционного материала в условиях инфекционных фонов значительно увеличила количество созданных селекционерами сортов, устойчивых к нескольким основным болезням (Дерова и др., 2018).

В настоящее время заведует лабораторией иммунитета кандидат сельскохозяйственных наук Николай Васильевич Шишкин (рис. 8).

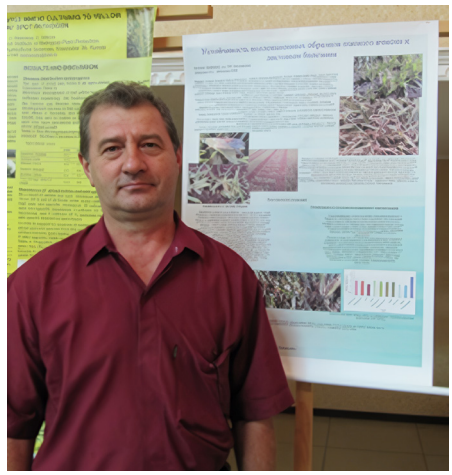


Рис. 8. Шишкин Николай Васильевич
Fig. 8. Nikolay Vasilievich Shishkin

Н. В. Шишкин расширил сотрудничество с коллегами из других НИИ, проводя совместные углубленные исследования по устойчивости пшеницы и ячменя, в результате которых получены данные для донских селекционеров и изданы совместные публикации (Шайдаюк и др., 2019; Shishkin et al., 2021; Волкова и др., 2020). Более 45 лет сотрудники лаборатории сотрудничают с коллегами из НЦБЗР (г. Краснодар), ВИЗР (г. Санкт-Петербург), поддерживают контакты с Россельхозцентром по Ростовской области, ВНИИ фитопатологии (Подмосковье) и другими научными учреждениями.

В настоящее время молодые ученые аспиранты Ольга Сергеевна Кононенко и Екатерина Сергеевна Дорошенко проводят изучение устойчивости пшеницы и ячменя как в полевых условиях, так и участвуют в совместных работах по определению генетических аспектов устойчивости методами молекулярных маркеров.

Сотрудники лаборатории, используя многие разработки и методы своих предшественников, сохраняют и дополняют полученный информационный иммунологический ресурс, а также семенной материал доноров и источников устойчивости в виде отборов и коллекций. В результате проводимых исследований созданы каталоги устойчивых к основным болезням генотипов пшеницы и ячменя, которые используются в селекционных программах на иммунитет. Сорта озимой пшеницы, переданные в последние годы, проявляют высокую или среднюю устойчивость к комплексу изучаемых болезней.

Работа по изучению устойчивости в условиях инфекционных фонов как распространенных, так и новых болезней и вредителей на посевах с.-х культур продолжается. Основными задачами, как и десятилетия назад, остаются следующие: создание инфекционных фонов наиболее вредоносных болезней, оценка на них селекционного и коллекционного материала с.-х культур, выделение устойчивых образцов и вовлечение их в селекционный процесс для создания новых сортов с целью производства экологически чистой продукции для населения.

Выводы. За годы работы лабораторией иммунитета и защиты растений в Донском регионе сделано очень много. Специалисты-иммунологи квалифицированно и настойчиво, сменяя друг друга в поколениях, проводили исследования, и результаты работ их очевидны. Большой вклад в основы защиты растений на Дону внесли ученые В. А. Макарова, Л. Л. Проничева, В. А. Чалая и многие другие специалисты. Созданной в 1974 г. лабораторией иммунитета руководили Н. А. Георгиевская (1974–1978 гг.), А. И. Деров (1979–2007 гг.), Т. Г. Дерова (2008–2011 гг.), Н. В. Шишкин (с 2012 г. и по настоящее время).

Многие годы сотрудники лаборатории проводили ежегодные оценки на естественных и искусственных фонах вредителей и болезней, рекомендовали селекционерам лучшие по устойчивость сорта, образцы, линии и гибриды сельскохозяйственных культур. Разработаны новые методы создания инфекционных фонов болезней и фонов высокой численности вредителей, на которых ежегодно оценивались десятки тысяч образцов с.-х культур.

Библиографический список

1. Волкова Г. В., Матвеева И. П., Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Марченко Д. М. Источники устойчивости к желтой ржавчине (возбудитель PUCCINIA STRIIFORMIS WEST.) среди селекционного и коллекционного материала озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76
2. Воронов, В. И. Современные проблемы генетики, селекции и семеноводства зерновых культур в Российской Федерации // Аграрная наука. 2019. № 1. С. 8–10. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-8-10
3. Вилков П. П., Виноградов П. В. Вредители и болезни полевых культур и борьба с ними. Ростов н/Д.: Гостипография им. Коминтерна, 1934. 140 с.
4. Деров, А. И. Создание искусственного фона высокой численности вредителей озимой пшеницы, озимого и ярового ячменя и оценка устойчивости сортов к ним // Сборник научных трудов «Селекция и семеноводство зерновых и кормовых культур». Ростов н/Д., 1992. С. 160–167.
5. Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Павленко О. С. Устойчивость сортов и коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы к комплексу наиболее вредоносных болезней в условиях Нижнего Дона // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6. С. 67–72. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-68-72
6. Дмитриев, А. П. А. А. Ячевский и развитие его идей в современном мире // Вестник защиты растений. 2013. № 4. С. 3–11.
7. Деянов И. Г., Макарова В. А. Сорные растения и меры борьбы с ними. Ростов н/Д.: Ростиздат, 1949. 96 с.
9. Захаренко, В. А. Иммунитет зерновых культур в управлении фитосанитарными рисками зерновых агросистем // Аграрная наука. 2019. № 2. С. 19–23. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-19-23
10. Иванова, Л. Н. Этапы развития дела защиты растений в период строительства социализма в СССР // Научные труды Ставропольского СХИ. Ставрополь, 1972. Вып. XXXIV. Т. 2, С. 3–8.
11. Калиненко, И. Г. Интенсивным технологиям возделывания озимой пшеницы – интенсивные сорта // В сборнике «Селекция зерновых и крупяных культур на Дону». Зерноград, 1987. С. 3–11.
12. Макарова, В. А. Как бороться с сорняками. Ростов н/Д.: Ростиздат (типография им. Калинина), 1945. 39 с.
13. Макарова, В. А. Химическая прополка. Ростов н/Д., 1960. 46 с.
14. Морошкина О. С., Акимова А. С. Люцерновый клоп и борьба с ним. Ростов н/Д.: Ростиздат, 1939. 36 с.
15. Огерчук, Г. П. Сорта ярового ячменя, обладающие комплексной устойчивостью к карликовой ржавчине и мучнистой росе // Тезисы докладов НТК по результатам научно-исследовательских работ за 1983 г. Ростов н/Д., 1984. 42 с.
16. Слободчиков, А. А. Влияние защиты растений на продуктивность сортов яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2, С. 10–14. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10202
17. Ческис, Ф. Н. К вопросу об изучении сорной растительности в Донской области. Ростово-Нахичеванская на Дону сельскохозяйственная опытная станция. Ростов н/Д.: Электропеч. А.И. Тер-Абрамиан, 1913. 16 с.
18. Шайдаюк Е. Л., Гультяева Е. И., Шишкин Н. В., Дерова Т. Г., Яковлева Д. Р., Иличкина Н. П. Характеристика вирулентности возбудителя бурой ржавчины на сортах озимой твердой пшеницы в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1(61). С. 56–61. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-56-61
19. 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 // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East, AFE 2021 – Papers". 2021. P. 221–230. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022123

References

1. Volkova G. V., Matveeva I. P., Derova T. G., Shishkin N. V., Marchenko D. M. Istochniki ustoichivosti k zheltoi rzhavchine (vozbuditel' PUCCINIA STRIIFORMIS WEST.) sredi selektsionnogo i kollektsionnogo materiala ozimoi pshenitsy FGBNU «ANTs Donskoi» [Yellow rust resistance sources (pathogen PUCCINIA STRIIFORMIS WEST.) among breeding and collection winter wheat material of the FSBSI “ARC “Donskoy”] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 4(70). S. 69–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76
2. Voronov, V. I. Sovremennye problemy genetiki, selektsii i semenovodstva zernovykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii [Modern problems of genetics, breeding and seed production of grain crops in the Russian Federation] // Agrarnaya nauka. 2019. № 1. S. 8–10. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-8-10
3. Vilkov P. P., Vinogradov P. V. Vrediteli i bolezni polevykh kul'tur i bor'ba s nimi [Pests and diseases of field crops and their control]. Rostov n/Donu: Gostipografiya im. Kominterna. 1934. 140 s.
4. Derov, A. I. Sozdanie iskusstvennogo fona vysokoi chislennosti vreditelei ozimoi pshenitsy, ozimogo i yarovogo yachmenya i otsenka ustoichivosti sortov k nim [Development of an artificial background of a high number of pests of winter wheat, winter and spring barley and estimation of the varieties’ resistance to them] // Sbornik nauchnykh trudov «Selektsiya i semenovodstvo zernovykh i kormovykh kul'tur». Rostov n/D., 1992. S. 160–167.
5. Derova T. G., Shishkin N. V., Pavlenko O. S. Ustoichivost' sortov i kollektsionnykh obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy k kompleksu naibolee vredonosnykh boleznei v usloviyakh Nizhnego Dona [Resistance of winter common wheat varieties and collection samples to a complex of the most harmful diseases in the Lower Don] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6. S. 67–72. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-68-72
6. Dmitriev, A. P. A. A Yachevskii i razvitie ego idei v sovremennom mire [A. A. Yachevsky and the development of his ideas in the modern world] // Vestnik zashchity rastenii. 2013. № 4. S. 3–11.
7. Deyanov I. G., Makarova V. A. Sornye rasteniya i mery bor'by s nimi [Weeds and measures to control them]. Rostov n/D.: Rostizdat, 1949. 96 s.
9. Zakharenko, V. A. Immunitet zernovykh kul'tur v upravlenii fitosanitarnymi riskami zernovykh agrosistem [Grain crop immunity in the management of phytosanitary risks of grain agrosystems] // Agrarnaya nauka. 2019. № 2. S. 19–23. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-2-19-23
10. Ivanova, L. N. Etapy razvitiya dela zashchity rastenii v period stroitel'stva sotsializma v SSSR [Developmental stages of plant protection during building socialism in the USSR] // Nauchnye trudy Stavropol'skogo SKhI. Stavropol'. 1972. Vyp. XXXIV. T. 2, S. 3–8.
11. Kalinenko, I. G. Intensivnym tekhnologiyam vozdelyvaniya ozimoi pshenitsy – intensivnye sorta [Intensive varieties to intensive technologies of winter wheat cultivation] // V sbornike «Selektsiya zernovykh i krupyanykh kul'tur na Donu». Zernograd, 1987. S. 3–11.
12. Makarova, V. A. Kak borot'sya s sornyakami [How to deal with weeds]. Rostov n/Donu: Rostizdat (tipografiya im. Kalinina), 1945. 39 s.
13. Makarova, V. A. Khimicheskaya propolka [Chemical weeding]. Rostov-n/D.,1960. 46 s.
14. Moroshkina O. S., Akimova A. S. Lyutsernovyi klop i bor'ba s nim [Alfalfa bug and its control]. Rostov n/D., Rostizdat, 1939. 36 s.
15. Ogerchuk, G. P. Sorta yarovogo yachmenya, obladayushchie kompleksnoi ustoichivost'yu k karlikovoi rzhavchine i muchnistoi rose [Spring barley varieties with complex resistance to dwarf rust and powdery mildew] // Tezisy dokladov NTK po rezul'tatam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 1983 g. Rostov n/D., 1984. 42 c.
16. Slobodchikov A. A. Vliyanie zashchity rastenii na produktivnost' sortov yarovoi pshenitsy [The effect of plant protection on productivity of spring wheat varieties] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 2. S. 10–14. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10202
17. Cheskis, F. N. K voprosu ob izuchenii sornoi rastitel'nosti v Donskoi oblasti [On the issue of studying weed vegetation in the Don region]. Rostovo-Nakhichevanskaya na Donu sel'skokhozyaistvennaya opytnaya stantsiya. Rostov n/D.: elektropech. A.I. Ter-Abramian, 1913. 16 s.
18. Shaidayuk E. L., Gul'tyaeva E. I., Shishkin N. V., Derova T. G., Yakovleva D. R., Ilichkina N. P. Kharakteristika virulentnosti vozbuditelya buroi rzhavchiny na sortakh ozimoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Characteristics of brown rust pathogen virulence on winter durum wheat varieties in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 1(61). S. 56–61. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-56-61
19. 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 // V sbornike: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East, AFE 2021 – Papers". 2021. P. 221–230. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022123

Поступила: 15.11.24; доработана после рецензирования: 21.11.24; принята к публикации: 21.11.24.

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. Дерова Т. Г., Шишкин Н. В. – концептуализация исследований, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.