
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
Т. 17, № 1. 2025 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.

Пахомов В. И. – главный редактор, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор (Зерноград, Россия);
Калинина Н. В. – зам. главного редактора (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);
Паштетский В. С. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «НИИСХ Крыма» (Симферополь, Россия);
Сандухадзе Б. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В. С. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);
Упадышев М. Т. – чл. корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Москва, Россия);
Шевченко С. Н. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «Самарский ФИЦ РАН» (Самара, Россия).

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

Журнал включен в Перечень ВАК Минобрнауки России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,
выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук (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 – Скуйбеда 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 27.02.2025

Дата выхода 28.02.2025. 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. 17, № 1. 2025

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.

Pakhomov V. I. – chief editor, Dr. Sci. (Technology), professor, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Kalinina N. V. – deputy chief editor (Zernograd, Russia);
Lobunskaya I. A. – technical secretary (Zernograd, Russia).

EDITORIAL BOARD:

Batalova G. A., Federal Agricultural Research Center of the East named N. V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, academician of RAS (Kirov, Russia);
Bespalova L. A., "P. P. Lukiyenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Volkova G. V., All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology), corresponding member of RAS (Krasnodar, Russia);
Gontcharenko A. A., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Davletov F. A., Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia);
Dolzhenko V. I., All-Russian Research Institute of Plant Protection – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (St. Petersburg, Russia);
Dubina E. V., Federal Scientific Rice Centre – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);
Zein N. N., Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Ekaterinburg, Russia);
Klykov A. G., Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika – Dr. Sci. (Biology),
professor of RAS, academician of RAS (Ussuriysk, Russia);
Kostylev P. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Agriculture), professor (Zernograd, Russia);
Lobachevsky Ya. P., Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor of RAS, academician of RAS
(Moscow, Russia);
Lukomets V. M., Federal Scientific Center "V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A. M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pashtetskiy V. S. – "Research Institute of Agriculture of Crimea" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Simferopol, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Upadyshev M. T., Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture),
professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);
Shevchenko S. N., Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture),
academician of RAS (Samara, Russia);

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

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

The 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 27.02.2025
The date of the issue is 28.02.2025. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.
Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Костылев П. И., Краснова Е. В., Дубина Е. В. Наследование содержания белка в зерне риса (обзор)	5
Гринберг М. А., Донцова А. А., Немцова Ю. А., Иванова А. В., Пирогова П. А., Донцов Д. П., Бондаренко В. С., Воденев В. А., Бондаренко Е. В. Показатели флуоресценции хлорофилла – эффективный параметр для изучения устойчивости ярового ячменя к абиотическим факторам	15
Королёв К. П., Одинцева Д. В., Якубенко А. Н. Характеристика гибридных популяций <i>Linum usitatissimum</i> L. по адаптивности в условиях Северного Зауралья	26
Лихачева Л. И., Москалев А. В., Лихачёва Н. В., Матолинец Н. Н. Новый детерминантный сорт гороха посевного Метеор	33
Майстренко О. А. Урожайность и основные хозяйственно ценные признаки лучших селекционных линий гороха Самарского НИИСХ	40
Петраш Н. В., Орлова Е. А. Получение и оценка удвоенных гаплоидов на основе линий яровой мягкой пшеницы с транслокацией от <i>Aegilops speltoides</i> Tausch	47
Дубина Е. В., Олимова З. К. Кизи. Применение молекулярно-генетических методов в селекции риса на холодоустойчивость	54
Газе В. Л., Лобунская И. А., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Донцова А. А. Определение толерантности образцов ярового ячменя на раннем этапе развития растений к холодоустойчивости	61
Горбачева А. Г., Дридигер В. В. Изучение стрессоустойчивости при прорастании семян и продуктивность родительских форм гибридов кукурузы в ранних сроках посева	67
Брагин Р. Н. Параметры адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях Ростовской области	74

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Кирип А. В., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Зеленская Г. М. Изучение урожайности и элементов структуры новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции АНЦ «Донской» по предшественнику подсолнечник	82
Федорова Д. Г., Галактионова Л. В. Влияние биоудобрения на водный режим, интенсивность фотосинтеза и урожайность зерновых культур в условиях Степного Предуралья	89
Дёмин Е. А., Миллер С. С. Влияние температуры и влажности почвы на продуцирование диоксида углерода под действием различных способов основной обработки в условиях Зауралья	98

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Результаты изучения распространения карликовой ржавчины в питомниках озимого ячменя	106
Шарапов И. И., Шарапова Ю. А. Видовой состав клопов – фитофагов по фенофазам развития озимой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Самарской области	114

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Kostylev P. I., Krasnova E. V., Dubina E. V. Inheritance of protein percentage in rice grain (review)	5
Grinberg M. A., Dontsova A. A., Nemtsova Yu. A., Ivanova A. V., Pirogova P. A., Dontsov D. P., Bondarenko V. S., Vodeneev V. A., Bondarenko E. V. Chlorophyll fluorescence indices as an effective parameter to study spring barley resistance to abiotic factors	15
Korolev K. P., Odintseva D. V., Yakubenko A. N. Characteristics of hybrid populations of <i>Linum usitatissimum</i> L. according to adaptability in the Northern Trans-Urals	26
Likhacheva L. I., Moskalev A. V., Likhacheva N. V., Matolinets N. N. The new determinate pea variety 'Meteor'	33
Maistrenko O. A. Productivity and main economically valuable traits of the best breeding lines of peas of the Samara RIA	40
Petrash N. V., Orlova E. A. Production and estimation of doubled haploids in the spring common wheat lines with translocation from <i>Aegilops speltoides</i> Tausch	47
Dubina E. V., Olimova Z. K. Kizi Application of molecular genetic methods in rice breeding for cold resistance	54
Gaze V. L., Lobunskaya I. A., Cherpakova E. Yu., Yanovskaya N. V., Dontsova A. A. Estimation of cold resistance of spring barley samples at an early stage of plant development	61
Gorbacheva A. G., Dridiger V. V. Study of stress resistance during seed germination and productivity of parental forms of maize hybrids at early sowing periods	67
Bragin R. N. Adaptability parameters of spring barley according to the trait '1000-grain weight' in the Rostov region	74

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Kirin A. V., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Rybas' I. A., Zelenskaya G. M. Study of yield and its structure elements of new winter common wheat varieties developed by the ARC "Donskoy" according to the forecrop 'sunflower'	82
Fedorova D. G., Galaktionova L. V. The effect of biofertilizer on water regime, intensity of photosynthesis and productivity of grain crops in the Steppe Pre-Urals	89
Demin E. A., Miller S. S. The effect of temperature and soil moisture on carbon dioxide emission caused by various primary tillage methods in the Trans-Urals	98

PLANT PROTECTION

Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Study results of dwarf rust spread in winter barley nurseries	106
Sharapov I. I., Sharapova Yu. A. Species composition of phytophagous bugs according to phenophases of winter common wheat development in the forest-steppe of the Samara region	114

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.18: 575.1

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-5-14

НАСЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ РИСА (ОБЗОР)

П. И. Костылев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;
Е. В. Краснова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;
Е. В. Дубина², доктор биологических наук, заведующая лабораторией информационных, цифровых и биотехнологий, ORCID ID: 0000-0002-8010-0137

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

²ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»,
350921, Краснодарский край, г. Краснодар, п. Белозерный, д. 3; e-mail: arri_kub@mail.ru

Рисовая крупа является важным пищевым продуктом во всем мире, особенно в Азии. Используется обычно шлифованный рис, но гораздо полезнее для здоровья нешлифованный рис без цветковых чешуй. В перикарпе зерновки риса содержатся протеины, которые повышают иммунитет и защищают организм от сердечно-сосудистых и раковых заболеваний, что повысило актуальность этого вопроса. В данной статье представлен обзор исследований по наследованию локусов количественных признаков, контролирующих содержание белка в зерне риса. Исследования проводили в Индии, Китае, Корее и Японии с использованием диаллоидных и рекомбинантных инбредных линий из гибридов от скрещивания между сортами риса, различающимися по содержанию протеинов. С помощью ДНК-маркеров были обнаружены QTL, контролирующие содержание белка на хромосомах риса. В исследованиях ученых из Азии было обнаружено от 2 до 22 QTL, которые были нанесены на карты хромосом. В результате геномного анализа были выявлены QTL, которые контролировали синтез различных фракций белка, таких как альбумин, проламин, глобулин и глютеинин. В исследованиях Тап и др. (2001) было обнаружено, что на содержание белка влияют два QTL на хромосомах 6 и 7. В работе Hu и др. (2004) найдено пять основных QTL содержания белка, расположенных на хромосомах 1, 4, 5, 6 и 7. Yu и др. (2009) установили пять QTL на хромосомах 3, 5, 6 и 10. В исследованиях Zhang и др. (2008) было идентифицировано и картировано 16 QTL для четырех фракций белка на восьми хромосомах. В работе Zheng и др. (2011) было идентифицировано 10 безусловных QTL, значительно влияющих на содержание белка, на девяти хромосомах. Yun и др. (2014) установили, что высокое содержание протеинов определяют три QTL на хромосомах 8, 9 и 10. В работе Zhao и др. (2022) в общей сложности были обнаружены 22 QTL, влияющих на содержание белка, во всех хромосомах, кроме первой. Эти QTL можно с помощью маркерной селекции использовать для пирамидирования благоприятных аллелей в одном генотипе при создании сортов с улучшенным качеством крупы риса.

Ключевые слова: рис, сорт, гибрид, линия, зерновка, белки, наследование, ген, QTL, маркер.

Для цитирования: Костылев П. И., Краснова Е. В., Дубина Е. В. Наследование содержания белка в зерне риса (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 5–14. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-5-14.



INHERITANCE OF PROTEIN PERCENTAGE IN RICE GRAIN (REVIEW)

P. I. Kostylev¹, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

E. V. Krasnova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;

E. V. Dubina², Doctor of Biological Sciences, head of the laboratory for information, digital and bio technologies, ORCID ID: 0000-0002-8010-0137

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

²FSBSI "Federal Research Center of rice"
350921, Krasnodar Krai, Krasnodar, v. of Belozerny, 3; tel.: 8 (861) 229-41-98; e-mail: arri_kub@mail.ru

Rice cereal is an important food product all over the world, especially in Asia. White rice is usually used, but brown rice without outer hull is much healthier. The pericarp of rice grains contains proteins that increase immunity and protect the body from cardiovascular diseases and cancer, which has increased the relevance of this issue. The current paper has presented a review of the papers on the inheritance of quantitative trait loci responsible for protein percentage in rice grain. The study was conducted in India, China, Korea and Japan using dihaploid and recombinant inbred lines from hybrids obtained from rice varieties with various protein percentage. Due to DNA markers, there have been identified QTL which control protein percentage in rice chromosomes. The researchers from Asia have identified between 2 and 22 QTL that have been mapped onto chromosomes. Genomic analysis has identified QTL that control the synthesis of various protein fractions, such as albumin, prolamins, globulins, and glutenin. Hu et al. (2004) found three QTL of oil on chromosomes 1, 2, and 5. Yu et al. (2009) found four QTL on chromosomes 3, 5, 6, and 8. Qin et al. (2010) mapped eight QTL on chromosomes 1, 2, 3, 5, 6, 7, and 9. Kim et al. (2013) found a significant QTL, qRCL5,

on chromosome 5. Yun et al. (2014) found that high lipid content was determined by three QTL on chromosomes 2, 3, and 6. Ying et al. (2012) identified 29 QTL on 10 chromosomes, several for seven fatty acids. Zhou et al. (2021) conducted a genomic study of oil composition and concentration in different groups of 533 cultivated rice varieties and identified 99 QTL, 94 of which were associated with oil composition and five with oil concentration. Tan et al. (2001) found that protein percentage was affected by two QTL on chromosomes 6 and 7. Hu et al. (2004) found five major QTL for protein percentage, located on chromosomes 1, 4, 5, 6, and 7. Yu et al. (2009) identified five QTL on chromosomes 3, 5, 6, and 10. Zhang et al. (2008) identified and mapped 16 QTL for four protein fractions on eight chromosomes. Zheng et al. (2011) identified 10 unconditional QTL significantly affecting protein percentage on nine chromosomes. Yun et al. (2014) found that high protein percentage was determined by three QTL on chromosomes 8, 9, and 10. Zhao et al. (2022) found 22 QTL affecting protein percentage on all chromosomes except chromosome 1. These QTL can be used by marker-assisted selection to pyramid favorable alleles in a single genotype to develop varieties with improved rice grain quality.

Keywords: rice, variety, hybrid, line, grain, protein, inheritance, gene, QTL, marker.

Введение. Рис является основным злаковым продуктом питания для более половины населения земного шара. Для этих людей данный продукт представляет главный источник белка. Запасной белок в рисе в основном состоит из глютелина, таким образом, он является уникальным среди зерновых благодаря более сбалансированному аминокислотному составу, чем у богатых проламинами запасных белков (Juliano, 1990). Поэтому увеличение содержания белка увеличит и сбалансирует его потребление теми людьми, основным продуктом питания которых является рис.

Кроме того, содержание рисового белка также может влиять на физико-химические свойства вареного риса (Hamaker, Griffin, 1991). Поэтому повышение содержания белка все чаще становится одной из основных селекционных задач, направленных на улучшение питательных качеств риса.

Среди сортов подвиды *Oryza sativa subsp. indica* в КНР были обнаружены существенные различия содержания белка в диапазоне от 4,9 до 19,3 %, а среди сортов *Oryza sativa subsp. japonica* – от 5,9 до 16,5 % (Lin et al., 1993). Также было показано, что эти различия количественно наследуются (Shenoy et al., 1991; Shi et al., 1999).

До сих пор генетические исследования содержания белка проводили в основном классическими количественными генетическими методами. С появлением ДНК-маркеров и растущей доступностью генетических карт высокой плотности для большинства основных культурных растений стало возможным разделение количественных признаков на их генетические компоненты, то есть локусы количественных признаков (QTL) (Lander, Botstein, 1989). С тех пор как была разработана стратегия анализа QTL с использованием ДНК-маркеров, был идентифицирован ряд QTL, влияющих на агрономически важные характеристики риса, такие как высота растений, дата цветения, компоненты урожая, устойчивость к болезням и засухе и т. д. Позже были описаны также показатели качества риса, такие как содержание амилозы, липидов, белка (Tan et al., 1999; Tan et al., 2001).

Имеется мало сообщений о генетической основе таких признаков из-за сложности их наследования, влияния окружающей среды и других условий. Например, на содержание белка может сильно влиять степень измель-

чения и условия окружающей среды, например, азотные удобрения и продолжительность роста (Perez et al., 1996). Эта сложность привела к трудностям в селекционной работе по повышению содержания белка в зерне риса (Coffman, Juliano, 1987). Выяснение их генетической основы в значительной степени помогло бы улучшить вышеупомянутые признаки.

Повышение содержания белка в рисе как одним из важных ингредиентов функциональных пищевых и промышленных продуктов стало совершенно новой целью в программах селекции риса по всему миру.

Цель работы – обобщить информацию из литературных источников по исследованию локусов количественных признаков, связанных с содержанием белков в зерне риса. Поскольку пищевая ценность определяется содержанием питательных веществ в зерне риса, знание об их наследовании облегчит выведение сортов риса с улучшенными показателями питательности.

Основная часть. Так же как урожайность, количество зерновок на метелке, их масса и др., такой признак качества, как содержание белка в рисе, наследуется количественно.

В исследовании Tan et al. (2001) использовали гибрид риса подвита *Oryza sativa subsp. indica* Shanyou 63 из Китая в качестве материала для изучения генетической основы содержания белка. Гибрид F_1 был получен от скрещивания сортов Zhenshan 97 (ЗБ – материнская линия) и Minghui 63 (МН – отцовская линия). Из него была сформирована популяция из 238 рекомбинантных инбредных линий (RIL) F_{10} , полученных от растений F_2 методом односемянного потомства.

Распределение содержания белка в популяции RIL, а также у родителей и гибрида (F_1) показало, что различия между двумя родителями были небольшими (рис. 1).

У сорта риса Zhenshan 97 в среднем было 8,6 % белка, у Minghui 63 – 7,1 %, у гибрида F_1 – 6,1 %, у всех линий – 7,1 % с диапазоном варьирования от 4,7 до 9,3 %. Наблюдалась гибридная депрессия признака. Колоколообразное фенотипическое распределение и широкий диапазон вариаций исследуемого признака указывали на трансгрессивную сегрегацию, что позволяет предположить полигенное наследование признаков. Наследуемость признака содержания белка в зерне составляла 31,5 %.

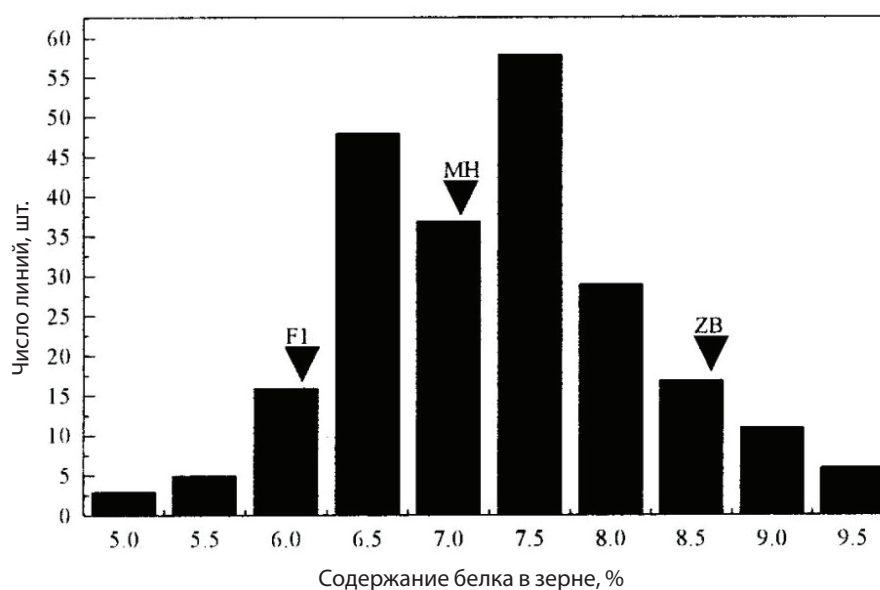


Рис. 1. Распределение частот величин содержания белка в популяции RIL риса. Средние значения признака для обеих родительских форм Zhenshan 97 (ZB), Minghui 63 (MH) и гибрида F_1 указаны стрелками (Tan et al., 2001)

Fig. 1. Frequency distribution of protein percentage values in the rice population RIL. The mean trait values for both parental forms 'Zhenshan 97' (ZB), 'Minghui 63' (MH) and the hybrid F_1 are indicated by arrows (Tan et al., 2001)

Карта сцепления состояла из 162 маркеров RFLP (полиморфизм длины рестрикционных фрагментов) и 48 SSR (простые повторяющиеся последовательности), охватывающих 12 хромосом. Было обнаружено, что на содержание белка влияют два интервала QTL. Один из них отображен в интервале C952 – Wx на хромосоме 6, причем больший эффект объясняет 13,0 % фенотипической дисперсии и $LOD = 6,8$. В этом локусе аллель MH увеличивал содержание белка на 0,61 %. Другой, с меньшим эффектом, был обнаружен на хромосоме 7 в интервале R1245 – RM234 (рис. 2). В общей сложности два QTL объяснили 17,7 % фенотипической дисперсии при $LOD = 9,2$.

LOD (логарифм оценки шансов) – это статистическая оценка сцепления двух генетических локусов достаточно близко друг к другу на определенной хромосоме и их совместного наследования.

В исследованиях Hu et al. (2004) был проведен анализ содержания белка в зерне риса, который является важным компонентом его питательных качеств. Фенотипический анализ признаков выявил весьма существенные различия по содержанию белка между дигаплоидными линиями, которое варьировало от 8,67–15,79 % при среднем значении 10,96 % (рис. 3).

Величины признака у родительских форм Gui 630 и 02428 были идентичными – около 10,5 %. Этот признак непрерывно варьировал и приблизительно соответствовал нормальному распределению с абсолютными значениями асимметрии и эксцесса менее 1,0, указывая на то, что он подходит для картирования QTL. По этому признаку наблюдалась значительная трансгрессивная сегрегация (рис. 3).

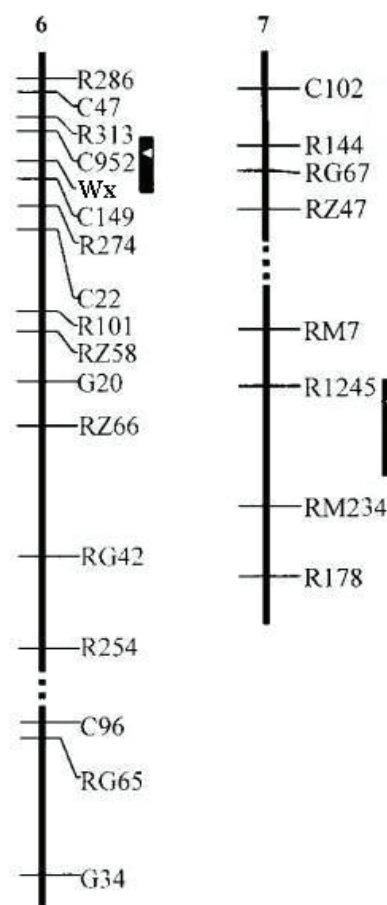


Рис. 2. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание белка в зерне риса (Tan et al., 2001)

Fig. 2. Chromosomal location of QTL determining protein percentage in rice grain (Tan et al., 2001)

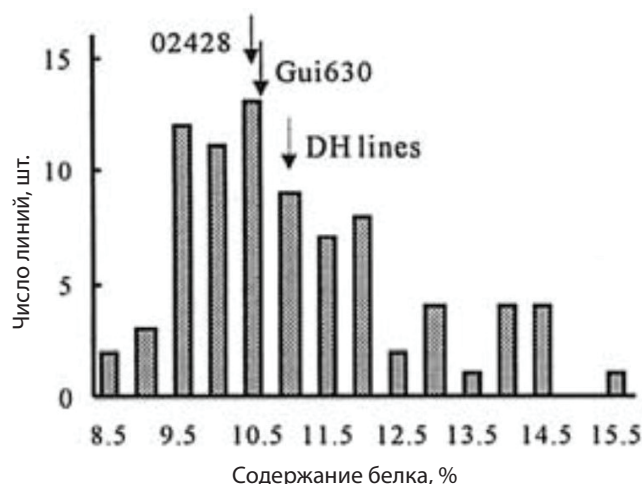


Рис. 3. Распределение частот величин содержания белка в популяции дигаплоидов риса. Средние значения признака для линий и обеих родительских форм указаны стрелками (Hu et al., 2004)

Fig. 3. Frequency distribution of protein percentage values in the rice dihaploid population. The mean trait values for the lines and both parental forms are indicated by arrows (Hu et al., 2004)

Для изучения генетической основы этого признака и поиска QTL использовали дигаплоидную популяцию и карту связей RFLP, состоящую из 232 маркеров. В общей сложности

было установлено пять основных QTL для содержания белка, которые в совокупности объясняли 74 % фенотипических вариаций при LOD = 15,2 (рис. 4).

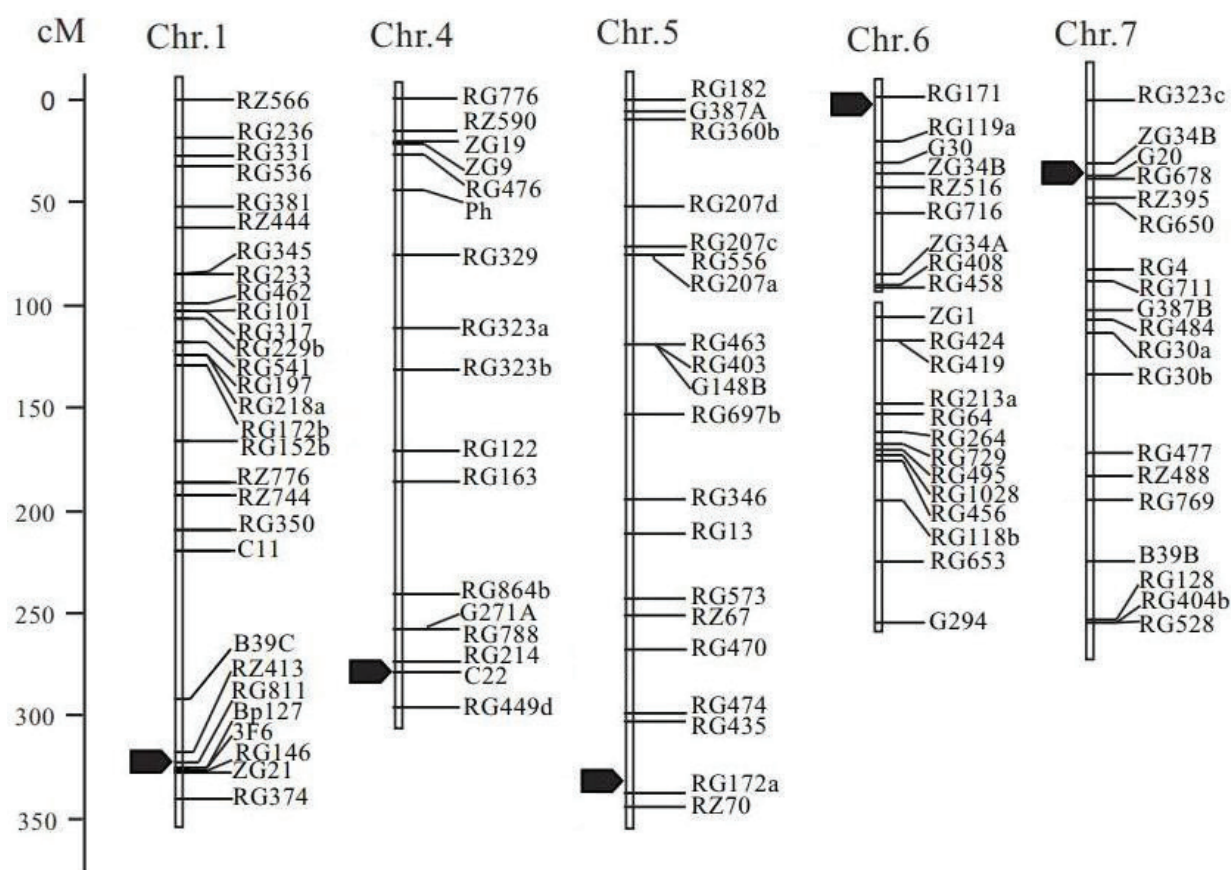


Рис. 4. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание белка в зерне риса (Hu et al., 2004)

Fig. 4. Chromosomal arrangement of QTL determining protein percentage in rice grain (Hu et al., 2004)

Среди этих QTL основной QTL qRPC-5 с наибольшим эффектом был отображен в интервале маркеров RG435 – RG172a на хромосоме 5. На его долю приходилось 35 % фенотипической

вариации с LOD, равным 16,7. В этом локусе аллель от родительского сорта Gui 630 увеличил содержание белка на 1,32 %. Второй QTL qRPC-7 был картирован в интервале ZG34B – G20

на хромосоме 7. Это объясняет 23 % фенотипической дисперсии при LOD 6,1. Его положительные аллели, также от родительского сорта Gui 630, увеличили содержание белка на 1,05 %. Что касается остальных трех QTL на хромосомах 1, 4 и 6, их аддитивные эффекты были относительно невелики, а все их положительные аллели были унаследованы от родительского гена образца 02428.

Кроме того, для признака содержания белка было выявлено две пары эпистатических локусов. Наряду с наблюдением, что содержание белка показало высокую наследуемость (78 %), эти результаты демонстрируют, что оно

в популяции дигиплоидов может контролироваться относительно небольшим количеством QTL с большими основными эффектами. Информация, представленная авторами, может быть полезна для улучшения качества питательных веществ в зерне риса посредством селекции с помощью маркеров (Hu et al., 2004).

Китайскими учеными Yu et al. (2009) на основе гибрида F1 риса Xieqingzao B x Milyang 46 была создана популяция из 209 рекомбинантных инбредных линий F9. Анализ локусов количественных признаков позволил обнаружить пять QTL для содержания белка на хромосомах 3, 4, 5, 6 и 10 (рис. 5).

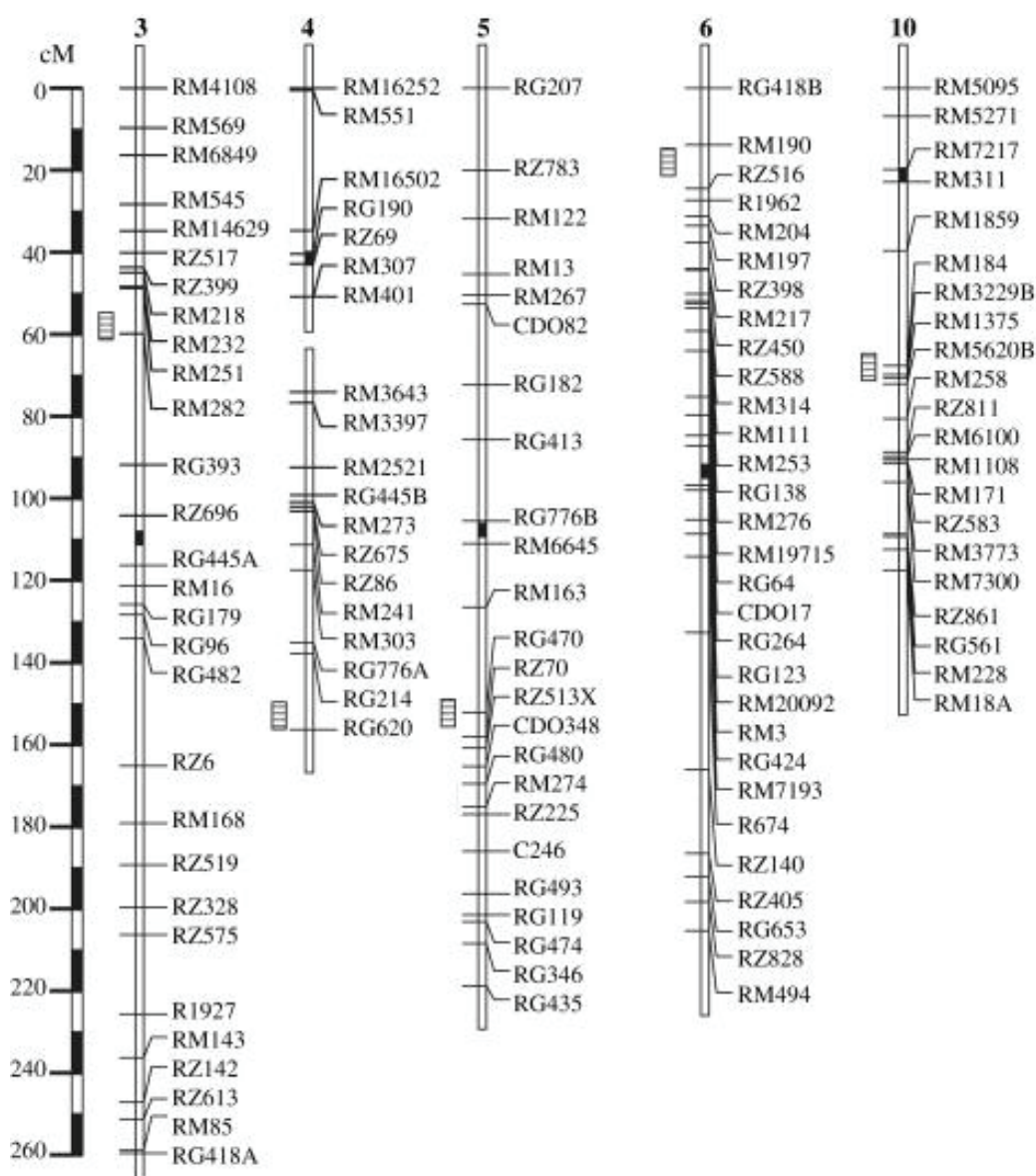


Рис. 5. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание белка в зерне риса (Yu et al., 2009)

Fig. 5. Chromosomal arrangement of QTL determining protein percentage in rice grain (Yu et al., 2009)

Среди этих локусов основной QTL qPC-6 был расположен рядом с маркерами RM190 и RZ516 на коротком плече 6-й хромосомы риса, объясняя 19,3 % фенотипической дисперсии и демонстрируя аддитивный эффект в 0,471 %. Остальные четыре QTL объясняли

3,9–10,5 % фенотипической дисперсии и имели аддитивный эффект 0,213–0,343 %. Все QTL имели усиливающие аллели из Milyang 46. Авторы считают, что использование этих QTL может быть полезным для улучшения питательных качеств сортов риса и это может быть особенно

верно для qPC-3 и qPC-4, поскольку они не связаны с неблагоприятным воздействием на другие признаки (Yu et al., 2009).

Улучшение качества белков, необходимых для хранения риса, важно для селекции риса, обеспечивающего высокие питательные качества. Белок риса состоит из фракций: альбумин, проламин, глобулин и глютеин. В исследованиях Zhang et al. (2008) 71 рекомбинантная инбредная линия, полученные в результате скрещивания японского сорта Asominori с индийским сортом IR24, была использована для изучения наследования содержания сырого белка и белковых фракций у риса. В общей сложности было идентифицировано и картировано 16 QTL для этих четырех фракций на восьми хромосомах. Каждый вариант белка кодируется своими генами. Несколько QTL, влияющих на содержание различных белковых фракций, были картированы в одном и том же участке хромосомы. В частности, были идентифицированы два QTL, которые оказывают значительное влияние на содержание проламина и глютеина одновременно. Один QTL, обозначенный как qCP-12, влияющий на содержание сырого протеина, находился в той же области, что и QTL qGLT-12, влияющий на содержание глютеина, что согласуется с положительной корреляцией между уровнем глютеина и содержанием белка (Zhang et al., 2008).

В дальнейшем китайские ученые использовали эти же линии для анализа еженедельной динамики накопления белка в течение месяца налива с помощью методов картирования QTL (Zheng et al., 2011).

Значения содержания белка были выше у сорта IR24 по сравнению с Asominori на большинстве этапов. На ранних этапах было высокое накопление белка, затем оно снизилось на втором, прежде чем достичь максимума на четвертом. К полному наливу в зерне сор-

та Asominori накопилось 9,42 % белка, сорта IR24 – 11,45 %, у линий – от 8,47 до 14,13 %, в среднем 11,44 %. Наблюдалась трансгрессивная сегрегация содержания белка в популяции линий на всех стадиях.

Всего на четырех этапах налива зерна было идентифицировано 10 безусловных QTL, которые значительно влияли на содержание белка, причем на первых трех этапах их было выявлено больше, чем на заключительном этапе. Они находились на девяти из 12 хромосом и не присутствовали на хромосомах 2, 5 и 11. На заключительном этапе были обнаружены три QTL между маркерами R886 и R1485 на хромосоме 1 (qPC-1) и XNpb212-G1318 на хромосоме 3 (qPC-3.1), а также между маркерами C483 и C259 на хромосоме 8 (qPC-8). В этих локусах аллели с повышенным содержанием белка qPC-1 и qPC-3.1 были получены от сорта Asominori, а qPC-8 – от сорта IR24 (Zheng et al., 2011).

Авторы отметили, что несколько найденных QTL были тесно связаны с опубликованными ранее. Например, qPC-3.2 и qPC-3.3 были очень близки к QTL в интервале RM251 и RM282, о которых ранее сообщали Yu et al. (2009). Аналогичным образом qPC-6 был локализован в области гена Wx, аналогично описанному Tan et al. (2001). Другие примеры этого включают qPC-7.1 и qPI-7.1 вблизи QTL, наблюдаемых Hu et al. (2004), то есть между ZG34B и G20.

Корейские ученые (Yun et al., 2014) исследовали популяцию 133 дигаметоидных линий, выделенных из гибридной комбинации Cheongcheong x Nagdong. Содержание белка у них составило 7,7 % и 6,4 % соответственно, в то время как у ДН-линий в среднем 8,2 %. Содержание белка широко варьировало (рис. 6), а результаты показали, что этот признак является количественным и определяется несколькими генами.

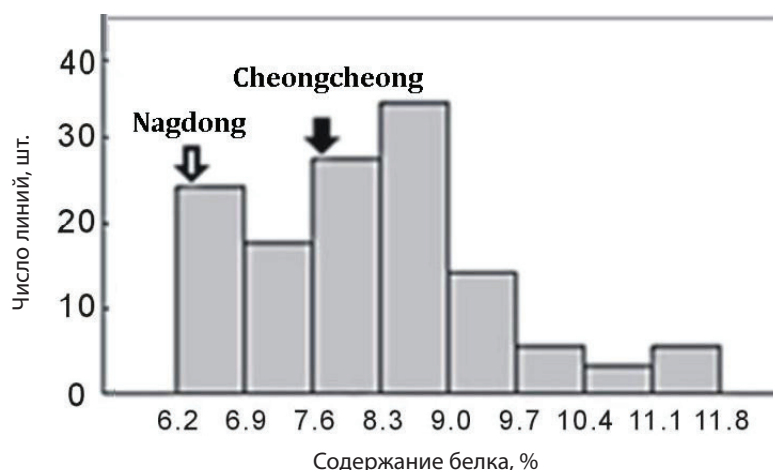


Рис. 6. Распределение частот величин содержания белка в популяции дигаметоидов риса. Средние значения признака родительских форм указаны стрелками, слева – Nagdong, справа – Cheongcheong (Yun et al., 2014)

Fig. 6. Frequency distribution of protein percentage values in the dihaploid rice population. The mean values of the trait of the parental forms are indicated by arrows, on the left – Nagdong, on the right – Cheongcheong (Yun et al., 2014)

С помощью анализа 222 микросателлитных маркеров, распределенных по 12 хромосомам, было установлено, что три QTL, контролирующие содержание белка, были расположены на RM506-RM1235 на хромосоме 8 с показателем LOD, равным 2,57, RM219-RM23914 – на хромосоме 9 с показателем LOD, равным

2,66, и RM24934-RM25128 – на хромосоме 10 с показателем LOD, равным 6,13, соответственно. Эти QTL назывались qPro-8, qPro-9 и qPro-10 (рис. 7). Эти маркеры показали совпадение с высоким содержанием белка в зерне на 75–80 %.

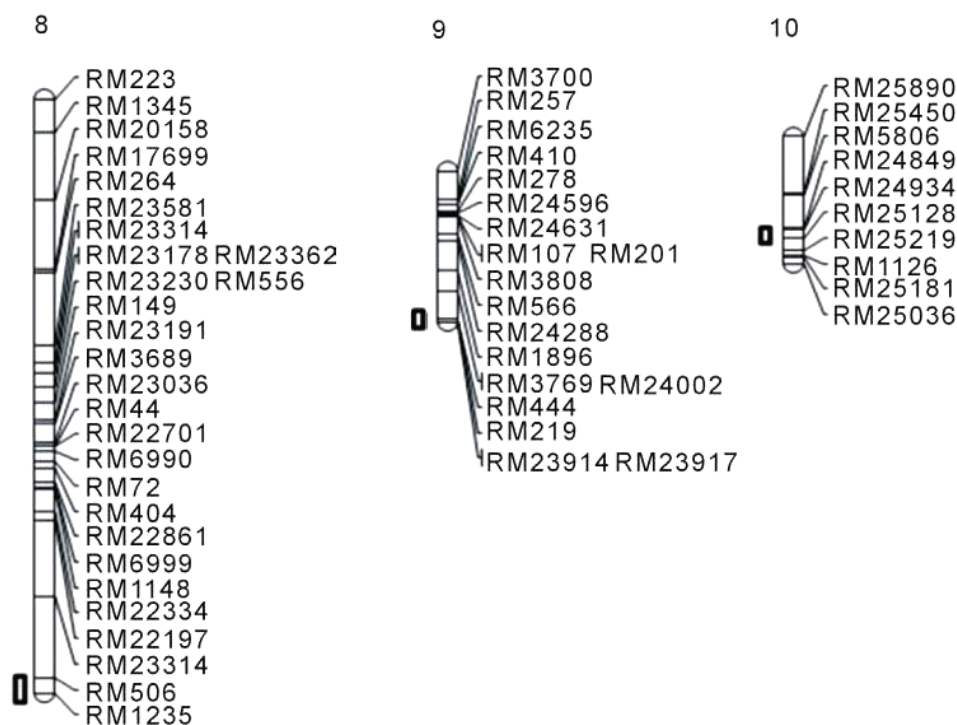


Рис. 7. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание белка в зерне риса (Yun et al., 2014)
Fig. 7. Chromosomal arrangement of QTL determining protein percentage in rice grain (Yun et al., 2014)

Таким образом, в мире проводилось много исследований по анализу наследования содержания белка в зернах риса. Хотя было обнаружено множество QTL для этого признака у риса (Peng et al., 2017; Takayuki et al. 2018), были клонированы только некоторые из них, и знания о регуляторном механизме, лежащем в основе содержания белка в зерне, все еще не очень ясны.

Из полученной информации следует, что идентификация и точное картирование стабильных аллелей с последующим распределением их по пирамидам с помощью маркерной селекции для увеличения содержания белка без ущерба для других важных агрономических признаков очень важны и необходимы.

В работе Zhao et al. (2022) были охарактеризованы QTL, влияющие на содержание белка, в популяции линий с замещенными сегмен-

тами хромосом, полученных от скрещивания образца 9311 (в качестве реципиента) и сорта Nipponbare (в качестве донора).

Изученная популяция состояла из 119 линий BC₄F₂. Для выявления QTL были использованы генотипические данные по 250 полиморфным локусам, включая 211 SSR и 39 сайтов-меток последовательностей. Среднее за 2 года содержание белка у Nipponbare составило 8,14 %, а у 9311 – 7,3 %. Среди линий содержание белка непрерывно распределялось 6,07 до 8,38 %, в среднем за два года 7,15 %. Двухнаправленная трансгрессия предполагает, что содержание белка является количественным признаком, контролируемым полигенами.

В общей сложности 22 QTL для содержания белка были обнаружены в 2016 и 2017 гг. на всех хромосомах, кроме первой (рис. 8).

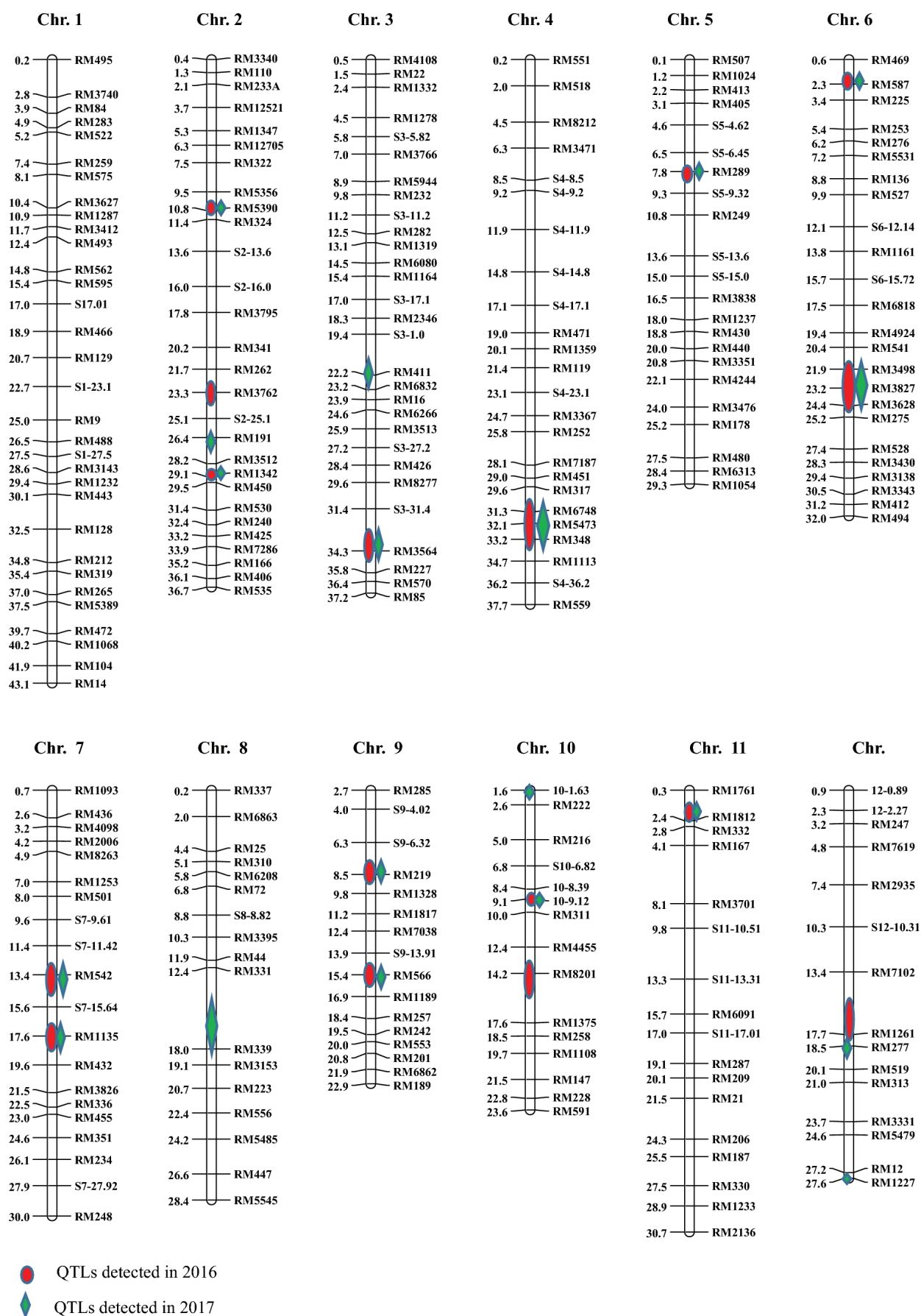


Рис. 8. Хромосомные карты с QTL содержания белка в зерне риса (Zhao et al., 2022)
Fig. 8. Chromosomal maps with QTL determining protein percentage in rice grain (Zhao et al., 2022)

Из них 13 QTL были выявлены в оба года со средним аддитивным эффектом 4,3. Аллели с положительным влиянием на содержание белка qGPC3-1, qGPC7-1, qGPC8 и qGPC12-1 были получены от сорта Nipponbare. Другие аллели оказывали негативное влияние на содержание белка и были получены из образца 9311. Аллели qGPC7-1 и qGPC10-1 показали наибольший аддитивный эффект по содержанию белка.

Самыми важными локусами, ассоциированными с содержанием белка, являются qGPC9-2 и qGPC10-2, на хромосомах 9 и 10. Они демонстрировали более 4 % аддитивных эффектов.

Эти результаты улучшили понимание генетической основы содержания белка, что будет полезно для улучшения пищевых качеств риса с помощью маркерной селекции в будущем.

Заключение. В процессе обзора литературных источников по исследованию локусов количественных признаков, связанных с со-

держанием белка в зерне риса, проведенных в Индии, Китае, Корее и Японии с использованием дигиплоидных и рекомбинантных инбредных линий из гибридов от скрещивания между различающимися по содержанию протеинов сортов риса было установлено, что с помощью ДНК-маркеров обнаружены QTL, контролирующие содержание белка на хромосомах риса. В исследованиях ученых из Азии было обнаружено от 2 до 22 QTL, которые были нанесены на карты хромосом. В результате геномного анализа были выявлены QTL, которые контролировали синтез различных фракций белка, таких как альбумин, проламин, глобулин и глютен. Эти QTL можно с помощью маркерной селекции использовать для пирамидирования благоприятных аллелей в одном генотипе при создании сортов с улучшенным качеством крупы риса.

Библиографический список

1. Coffman W. R., Juliano B. O. Rice. In: Olson RA (ed) Nutritional quality of cereal grains. Genetic and agronomic improvement. Agronomy Society of America, Madison, Wisconsin, 1987. P. 101–129.
2. Hamaker B. R., Griffin V. K. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness Journal of food science. 1991. Vol. 56(5), P. 1327–1329.
3. Hu Z. L., Li P., Zhou M. Q., Zhang Z. H., Wang L. X., Zhu L. H., Zhu Y. G. Mapping of quantitative trait loci (QTLs) for rice protein and fat content using doubled haploid lines // Euphytica. 2004. Vol. 135(1), P. 47–54. DOI: 10.1023/B:EUPH.0000009539.38916.32
4. Juliano, B. O. Rice grain quality: problems and challenges // Cereal Foods World. 1990. Vol. 35, P. 245–253.
5. Lander E. S., Botstein D. Mapping Mendelian factors underlying quantitative traits using RFLP linkage maps // Genetics. 1989. Vol. 121, P. 185–199.
6. Lin R., Luo Y., Liu D., Huang C. Determination and analysis on principal qualitative characters of rice germplasm // In: C. Ying (Ed.), Rice Germplasm Resources in China. 1993. P. 83–93.
7. Peng B., Sun Y. F., Pang R. H., Kong D. Y., Song X. H., Li H. L., Li J. T., Zhou Q. Y., Duan B., Liu L., Song S. Z. Genetic of rice seed protein content, a review // J. Southern Agri. 2017. Vol. 48(3), P.401–407.
8. Perez C. M., Juliano B. O., Liboon S. P., Alcantara J. M., Cassman K. G. Effects of late nitrogen fertilization application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice // Cereal Chem. 1996. Vol. 73, P. 556–560.
9. Shenoy V. V., Seshu D. V., Sachan J. K. S. Inheritance of protein per grain in rice // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 1991. Vol. 51(2), P. 214–220.
10. Shi C.H., Zhu J., Yang X.E., Yu Y.G., Wu J. Genetic analysis for protein content in indica rice // Euphytica. 1999. Vol. 107(2). P. 135–140.
11. Takayuki K., Jun M. Identification and characteristics of quantitative trait locus for grain protein content, TGP12, in rice (*Oryza sativa* L.) // Euphytica. 2018. Vol. 214(9), P. 165.
12. Tan Y. F., Li J. X., Yu S. B., Xing Y. Z., Xu C. G., Zhang Q. The three important traits for cooking and eating quality of rice grains are controlled by a single locus in an elite rice hybrid, Shanyou 63 // Theoretical and Applied Genetics. 1999. Vol. 99, P. 642–648.
13. Tan Y. F., Sun M., Xing Y. Z., Hua J. P., Sun X. L., Zhang Q. F., Corke H. Mapping quantitative trait loci for milling quality, protein content and color characteristics of rice using a recombinant inbred line population derived from an elite rice hybrid // Theoretical and Applied Genetics. 2001. Vol. 103, P. 1037–1045.
14. Yu Y. H., Li G., Fan Y. Y., Whang K. Q., Min J., Zhu Z. W., Zhuang J. Y. Genetic relationship between grain yield and the contents of protein and fat in a recombinant inbred population of rice // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 50, № 1. P. 121–125. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.03.008
15. Yun B. W., Kim M. G., Handoyo T., Kim K. M. Analysis of rice grain quality-associated quantitative trait loci by using genetic mapping // American Journal of Plant Sciences. 2014. Vol. 5, P. 1125–1132. DOI: 10.4236/ajps.2014.59125
16. Zheng L., Zhang W., Chen X., Ma J., Chen W., Zhao Z., Zhai H., Wan J. Dynamic QTL analysis of rice protein content and protein index using recombinant inbred lines // Journal of Plant Biology. 2011. Vol. 54, P. 321–328. DOI: 10.1007/s12374-011-9170-y
17. Zhang W., Bi J., Chen L., Zheng L., Ji S., Xia Y., Xie K., Zhao Z., Wang Y., Liu L., Jiang L., Wan J. QTL mapping for crude protein and protein fraction contents in rice (*Oryza sativa* L.) // Journal of Cereal Science. 2008. Vol. 48, Article number: 539e547. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.11.010
18. Zhao L., Zhao C. F., Zhou L. H., Yao S., Zhao Q. Y., Chen T., Zhu Z., Zhang Y. D., Wang C. L. Mapping QTLs for rice (*Oryza sativa* L.) grain protein content via chromosome segment substitution lines // Cereal Research Communications. 2022. Vol. 50, P. 699–708. DOI: 10.1007/s42976-021-00237-y

References

1. Coffman W. R., Juliano B. O. Rice. In: Olson RA (ed) Nutritional quality of cereal grains. Genetic and agronomic improvement. Agronomy Society of America, Madison, Wisconsin, 1987. P. 101–129.
2. Hamaker B. R., Griffin V. K. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness Journal of food science. 1991. Vol. 56(5), P. 1327–1329.
3. Hu Z. L., Li P., Zhou M. Q., Zhang Z. H., Wang L. X., Zhu L. H., Zhu Y. G. Mapping of quantitative trait loci (QTLs) for rice protein and fat content using doubled haploid lines // Euphytica. 2004. Vol. 135(1), P. 47–54. DOI: 10.1023/B:EUPH.0000009539.38916.32
4. Juliano, B. O. Rice grain quality: problems and challenges // Cereal Foods World. 1990. Vol. 35, P. 245–253.
5. Lander E. S., Botstein D. Mapping Mendelian factors underlying quantitative traits using RFLP linkage maps // Genetics. 1989. Vol. 121, P. 185–199.
6. Lin R., Luo Y., Liu D., Huang C. Determination and analysis on principal qualitative characters of rice germplasm // In: C. Ying (Ed.), Rice Germplasm Resources in China. 1993. P. 83–93.
7. Peng B., Sun Y. F., Pang R. H., Kong D. Y., Song X. H., Li H. L., Li J. T., Zhou Q. Y., Duan B., Liu L., Song S. Z. Genetic of rice seed protein content, a review // J. Southern Agri. 2017. Vol. 48(3), P.401–407.
8. Perez C. M., Juliano B. O., Liboon S. P., Alcantara J. M., Cassman K. G. Effects of late nitrogen fertilization application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice // Cereal Chem. 1996. Vol. 73, P. 556–560.
9. Shenoy V. V., Seshu D. V., Sachan J. K. S. Inheritance of protein per grain in rice // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 1991. Vol. 51(2), P. 214–220.
10. Shi C.H., Zhu J., Yang X.E., Yu Y.G., Wu J. Genetic analysis for protein content in indica rice // Euphytica. 1999. Vol. 107(2), P. 135–140.
11. Takayuki K., Jun M. Identification and characteristics of quantitative trait locus for grain protein content, TGP12, in rice (*Oryza sativa* L.) // Euphytica. 2018. Vol. 214(9), P. 165.
12. Tan Y. F., Li J. X., Yu S. B., Xing Y. Z., Xu C. G., Zhang Q. The three important traits for cooking and eating quality of rice grains are controlled by a single locus in an elite rice hybrid, Shanyou 63 // Theoretical and Applied Genetics. 1999. Vol. 99, P. 642–648.
13. Tan Y. F., Sun M., Xing Y. Z., Hua J. P., Sun X. L., Zhang Q. F., Corke H. Mapping quantitative trait loci for milling quality, protein content and color characteristics of rice using a recombinant inbred line population derived from an elite rice hybrid // Theoretical and Applied Genetics. 2001. Vol. 103, P. 1037–1045.
14. Yu Y. H., Li G., Fan Y. Y., Whang K. Q., Min J., Zhu Z. W., Zhuang J. Y. Genetic relationship between grain yield and the contents of protein and fat in a recombinant inbred population of rice // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 50, № 1. P. 121–125. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.03.008
15. Yun B. W., Kim M. G., Handoyo T., Kim K. M. Analysis of rice grain quality-associated quantitative trait loci by using genetic mapping // American Journal of Plant Sciences. 2014. Vol. 5, P. 1125–1132. DOI: 10.4236/ajps.2014.59125
16. Zheng L., Zhang W., Chen X., Ma J., Chen W., Zhao Z., Zhai H., Wan J. Dynamic QTL analysis of rice protein content and protein index using recombinant inbred lines // Journal of Plant Biology. 2011. Vol. 54, P. 321–328. DOI: 10.1007/s12374-011-9170-y
17. Zhang W., Bi J., Chen L., Zheng L., Ji S., Xia Y., Xie K., Zhao Z., Wang Y., Liu L., Jiang L., Wan J. QTL mapping for crude protein and protein fraction contents in rice (*Oryza sativa* L.) // Journal of Cereal Science. 2008. Vol. 48, Article number: 539e547. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.11.010
18. Zhao L., Zhao C. F., Zhou L. H., Yao S., Zhao Q. Y., Chen T., Zhu Z., Zhang Y. D., Wang C. L. Mapping QTLs for rice (*Oryza sativa* L.) grain protein content via chromosome segment substitution lines // Cereal Research Communications. 2022. Vol. 50, P. 699–708. DOI: 10.1007/s42976-021-00237-y

Поступила: 03.09.24; доработана после рецензирования: 26.09.24; принята к публикации: 30.09.24.

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. Костылев П. И. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования, написание текста статьи; Краснова Е. В. – сбор и анализ данных; Дубина Е. В. – анализ литературных источников.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОКАЗАТЕЛИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПАРАМЕТР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К АБИОТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

М. А. Гринберг¹, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории радиобиологии, tag1355@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6069-0400;

А. А. Донцова², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

Ю. А. Немцова¹, лаборант кафедры биофизики, julnemtcova@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-4654-2999;

А. В. Иванова¹, лаборант кафедры биофизики, ORCID ID: 0009-0008-0982-6761;

П. А. Пирогова¹, лаборант кафедры биофизики;

Д. П. Донцов², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

В. С. Бондаренко³, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела радиационных и генетических технологий в растениеводстве, bvs79@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6413-9699;

В. А. Воденев¹, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биофизики, v.vodeneev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3726-5577;

Е. В. Бондаренко³, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела радиационных и генетических технологий в растениеводстве, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,

Нижегородская обл., г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23;

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: doncova601@mail.ru;

³ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, корп. 1

Растущая потребность в увеличении производства сельскохозяйственной продукции в изменяющихся климатических условиях обуславливает необходимость ускорения работ по созданию новых стрессоустойчивых сортов. Полученные в результате селекции линии нуждаются в быстрой и качественной оценке на устойчивость к различным воздействиям. В связи с высокой степенью сопряжения между активностью фотосинтетического аппарата и растения в целом эффективность фотосинтеза является одним из наиболее показательных параметров, отражающих состояние растения. Ранее было показано, что параметры флуоресценции хлорофилла могут быть эффективно использованы для скрининга устойчивости новых линий ячменя к засухе. Цель настоящей работы заключалась в тестировании новых линий ячменя к засухе и солевому стрессу в контролируемых условиях на основе параметров фотосинтеза на ранних стадиях развития растений. Исследования проводили на перспективных линиях 11027 (Зерноградский 1895), 11023 (Зерноградский 1898) и новом сорте Феникс селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». Условия засухи задавали прекращением полива растений с 14-го дня и до окончания эксперимента. Для моделирования солевого стресса использовали полив растений соевым раствором с концентрацией 600 мМ через день с 14-дневного возраста. Регистрацию параметров фотосинтеза и интенсивности транспирации проводили ежедневно начиная с 12-дневного возраста проростков. Морфометрические параметры измеряли однократно по достижении растениями возраста 30 дней. Показано, что в бесстрессовых условиях морфометрические параметры и активность фотосинтеза линии 11027 и сорта Феникс выше, чем аналогичные показатели линии 11023. Наиболее устойчивой к засухе оказался сорт Феникс. Наибольшую устойчивость к солевому стрессу проявила линия 11023. Наименьшую устойчивость к обоим абиотическим воздействиям показала линия 11027, проявив наиболее ранние изменения фотосинтетических показателей. Отмечено, что показатели флуоресценции хлорофилла позволяют получить статистически значимые различия между исследуемыми линиями с использованием меньшего количества индивидуальных растений, чем требуется для накопления данных морфометрии, что является важным преимуществом метода для применения в селекционной работе.

Ключевые слова: фотосинтез, устойчивость к стрессовым факторам, засуха, солевой стресс, ячмень, фенотипирование.

Для цитирования: Гринберг М. А., Донцова А. А., Немцова Ю. А., Иванова А. В., Пирогова П. А., Донцов Д. П., Бондаренко В. С., Воденев В. А., Бондаренко Е. В. Показатели флуоресценции хлорофилла – эффективный параметр для изучения устойчивости ярового ячменя к абиотическим факторам // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 15–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-15-25.



CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDICES AS AN EFFECTIVE PARAMETER TO STUDY SPRING BARLEY RESISTANCE TO ABIOTIC FACTORS

M. A. Grinberg¹, Candidate of Biological Sciences, junior researcher of the laboratory for radiobiology, mag1355@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6069-0400;

A. A. Dontsova², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

Yu. A. Nemtsova¹, laboratory assistant of the department of biophysics, julnemtsova@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-4654-2999;

A. V. Ivanova¹, laboratory assistant of the department of biophysics, ORCID ID: 0009-0008-0982-6761;

P. A. Pirogova¹, laboratory assistant of the department of biophysics;

D. P. Dontsov², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

V. S. Bondarenko³, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the department of radiation and genetic technologies in plant breeding, bvs79@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6413-9699;

V. A. Vodeneev¹, Doctor of Biological Sciences, docent, head of the department of biophysics, v.vodeneev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3726-5577;

E. V. Bondarenko³, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the department of radiation and genetic technologies in plant breeding, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824

¹FSAEI HE "National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky", 603022, Nizhny Novgorod region, Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23;

²FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: doncova601@mail.ru;

³Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center "Kurchatov Institute", 249035, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe Sh., 1/1

The growing need to improve agricultural production in changing climatic conditions necessitates the acceleration of development of new stress-resistant varieties. The lines obtained as a result of breeding require rapid and high-quality estimation for resistance to various impacts. Due to the high degree of correlation between the activity of a photosynthetic apparatus and a plant, the efficiency of photosynthesis is one of the most indicative parameters of the state of a plant. There has been shown above that chlorophyll fluorescence parameters can be effectively used to screen new barley lines for drought resistance. The purpose of the current work was to test new barley lines for resistance to drought and salt stress under controlled conditions based on the parameters of photosynthesis at the early stages of plant development. The study was conducted on the promising lines '11027' (Zernogradsky 1895), '11023' (Zernogradsky 1898) and a new variety 'Feniks' developed by the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy". Drought conditions were created by stopping watering the plants from the 14th day until the end of the trial. To simulate salt stress, the 14-day old plants were watered with a 600 mM salt solution every other day. The parameters of photosynthesis and transpiration intensity were recorded daily, starting from the 12-day old seedlings. Morphometric parameters were measured once when the plants were 30 days old. There has been shown that under stress-free conditions, the morphometric parameters and photosynthetic activity of the line '11027' and the variety 'Feniks' are higher than similar indicators of the line '11023'. The variety 'Feniks' turned out to be the most drought-resistant. The line '11023' has demonstrated the greatest salt stress resistance. The line '11027' has demonstrated the lowest resistance to both abiotic effects, showing the earliest changes in photosynthetic indices. There has been noted that chlorophyll fluorescence indices allow obtaining statistically significant differences between the studied lines using a smaller number of individual plants than is required to accumulate morphometric data, which is an important advantage of the method in breeding.

Keywords: *photosynthesis, resistance to stress factors, drought, salt stress, barley, phenotyping.*

Введение. Засуха и засоление являются одними из основных абиотических стрессоров растений, лимитирующих их рост и продуктивность. Данные факторы служат главной причиной потери урожая во всем мире, снижая среднюю урожайность большинства основных сельскохозяйственных культур более чем на 50 % (Wang et al., 2003). Возникает необходимость выведения новых линий сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной устойчивостью к действию неблагоприятных факторов. Конечный успех селекции будет зависеть от быстрой и качественной оценки полученных линий, которая может быть выполнена при помощи систем высокопроизводительного фенотипирования, а именно фенотипирования на основе флуоресценции хлорофилла. В связи с высокой степенью сопряжения между состоя-

нием фотосинтетического аппарата и растения в целом активность фотосинтеза является наиболее показательным параметром, отражающим устойчивость растения к стрессовым воздействиям (Abdullaev et al., 2024; Stefanov et al., 2022; Sharma et al., 2020). В сочетании с другими неинвазивными методами, такими как инфракрасная термометрия, флуоресценция хлорофилла может быть мощным инструментом для определения стрессоустойчивости новых линий. Неинвазивность данных методов позволяет проводить многократный мониторинг ответов растений на действие стрессора на протяжении длительного времени.

В одном из наших исследований было показано, что фенотипирование на основе флуоресценции хлорофилла может быть эффективно использовано для скрининга устойчивости

новых линий ячменя к засухе. Наиболее перспективными показателями фотосинтеза, по которым возможно прогнозировать засухоустойчивость ячменя, представляются уровень $Y(II)$ и NPQ, отражающие активность работы фотосистемы II и количество рассеиваемой в виде тепла энергии (Немцова и др., 2023).

Целью настоящей работы являлось тестирование в контролируемых условиях на основе параметров фотосинтеза на ранних стадиях развития растений перспективных линий и сортов ячменя к засухе и солевому стрессу.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на растениях ячменя (*Hordeum vulgare* L.) перспективных линий 11027 (Зерноградский 1895), 11023 (Зерноградский 1898) и сорта Феникс селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». Семена замачивали в дистиллированной воде и проращивали на фильтровальной бумаге в течение трех дней. Посадку семян производили в горшки 7 x 7 x 7 см с использованием грунта универсального. Вес грунта в каждом горшке, измеренный на лабораторных весах, составлял 120 г. Полив проводили через день водопроводной водой. Объем воды, используемый на горшок при каждом поливе, составлял 20 мл. Растения выращивали в условиях 16-часового светового периода при освещении люминесцентными лампами и среднесуточной температуре 24 °C в течение 30 дней. В ходе исследования было изучено влияние на растения двух стрессоров – засухи и солевого стресса.

Морфометрические показатели оценивали по длине, сухой и сырой массе листьев и корней. Для измерения массы сухих листьев растения высушивали в ходе нагрева длительностью 6 ч при температуре 100 °C.

Параметры световой стадии фотосинтеза регистрировали при помощи ПАМ-флуориметра PlantExplorerPro⁺ (PhenoVation, Нидерланды). Расчет фотосинтетических параметров (максимального квантового выхода фотосистемы II (F_v/F_m); эффективного квантового выхода фотохимических реакций фотосистемы II ($Y(II)$) и нефотохимического тушения флуоресценции

(NPQ)) выполняли встроенным программным обеспечением прибора (Maxwell et al., 2000):

$$F_v = F_m - F_0, \quad (1)$$

где F_m – максимальный выход флуоресценции после адаптации к темноте, F_0 – уровень флуоресценции без света и после темновой адаптации.

$$Y(II) = (F_m' - F_t)/F_m', \quad (2)$$

где F_m' – максимальный выход флуоресценции на свету, F_t – стационарное значение флуоресценции непосредственно перед вспышкой.

$$NPQ = (F_m - F_m')/F_m'. \quad (3)$$

Для поддержания фотосинтеза применяли белый актиничный свет с плотностью фотонного потока 191,39 $\mu\text{моль м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Для насыщающих вспышек использовали освещение на длине волны 660 нм с плотностью фотонного потока 2881 $\mu\text{моль м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Значения фотосинтетических показателей регистрировали на уровне целого растения. Измерениям предшествовали темновая и световая адаптация длительностью по 15 мин.

Уровень транспирации оценивали по температуре листа с помощью тепловизора Testo 885, обладающего детектором с высокой разрешающей способностью, с температурной чувствительностью <30 мК (Ladeynova et al., 2020). Обработку полученных данных производили с помощью программного обеспечения для ПК Testo «IRSoft», поставляемого вместе с тепловизором. Для расчета относительной транспирации листьев одновременно с растениями регистрировали температуру сухого и смоченного стандартов (Jackson et al., 1981).

Условия засухи задавали прекращением полива растений с 14-го дня и до окончания эксперимента (рис. 1, А). Регистрацию параметров фотосинтеза и интенсивности транспирации осуществляли ежедневно начиная с 12-дневного возраста проростков. Морфометрические параметры измеряли однократно по достижении растениями возраста 30 дней.

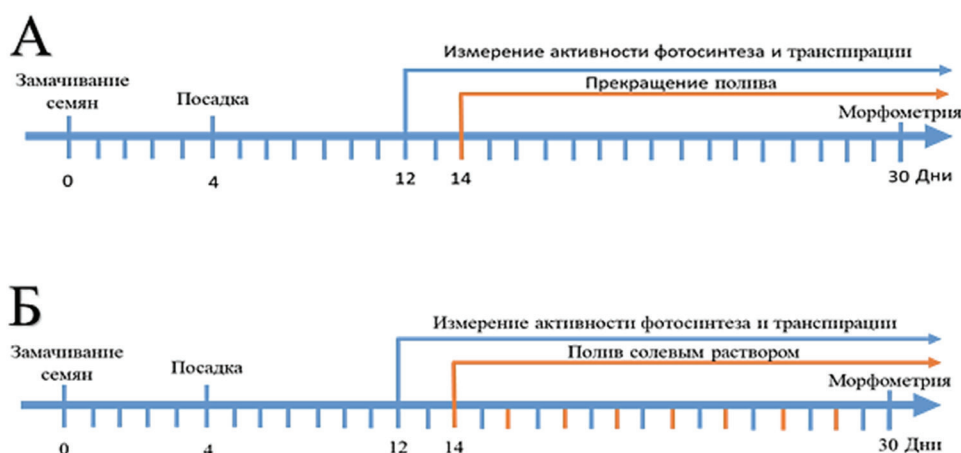


Рис. 1. Схема-график изучения влияния – А) засухи и Б) солевого стресса на состояние растений ячменя
Fig. 1. Schematic diagram of the effect of А) drought and Б) salt stress on the state of barley plants

Для моделирования солевого стресса использовали полив растений соевым раствором с концентрацией 600 мМ С 14-дневного возраста (рис. 1, Б) растения поливали через день: контрольные – водопроводной водой, опытные (подвергаемые солевому стрессу) – соевым раствором. Регистрацию параметров фотосинтеза и интенсивности транспирации производили ежедневно начиная с 12-дневного возраста проростков. Морфометрические параметры измеряли однократно по достижении растениями возраста 30 дней.

Биологическая повторность экспериментов составляла 18 растений для каждой линии ячменя. Эксперименты проведены в трех повторностях. Для каждой совокупности вычислялись среднее значение и ошибка среднего.

Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента.

В полевых условиях оценивали урожайность линий и устойчивость к биотическим факторам. Учеты, наблюдения и оценки селекционного материала проводили согласно Методике государственного сортоиспытания РФ (2019), Методическим указаниям ВИР по изучению мировой коллекции овса, ржи, ячменя (2012) и Международному классификатору СЭВ рода *Hordeum* L. (1983). Степень поражения гельминтоспориозными пятнистостями, мучнистой росой и карликовой ржавчиной оценивали согласно общепринятой шкале (Дорошенко и др., 2022).

Результаты и их обсуждение. В таблице 1 представлены результаты полевых испытаний исследуемых образцов ярового ячменя.

Таблица 1. Хозяйственно-биологическая характеристика перспективных линий и сорта ярового ячменя Феникс (2021–2023 гг.)
Table 1. Economic and biological characteristics of the promising spring barley lines and the variety 'Feniks' (2021–2023)

Параметр	Год	Формат, стандарт	Феникс	11023 (Зерноградский 1898)	11027 (Зерноградский 1895)	НСР _{0.5}
Урожайность, т/га	2021	4,3	4,9	5,2	5,4	0,3
	2022	6,3	6,8	6,5	6,6	0,3
	2023	5,7	6,2	6,5	6	0,4
	средняя	5,4	6,0	6,1	6,0	–
Масса 1000 зерен, г	2021	38,8	39,8	37,8	39,3	1,7
	2022	44,5	42,8	41,3	45	3,2
	2023	43,9	45,3	43,8	46,5	2,3
	средняя	44,1	42,6	41,0	43,6	–
Количество зерен в колосе, шт.	2021	19	21	25	24	0,8
	2022	22	23	22	25	1,4
	2023	23	21	27	26	1,9
	средняя	21	22	25	25	–
Количество продуктивных стеблей на м ²	2021	581	602	558	542	63,2
	2022	519	538	487	492	31,3
	2023	735	784	769	642	93,3
	средняя	612	641	605	559	–
Вегетационный период, дни	2021	79	76	78	78	–
	2022	66	65	65	66	–
	2023	83	82	82	83	–
	средняя	76	74	75	76	–
Содержание белка в зерне, %	2021	12,3	12	12,8	13,2	0,8
	2022	11,2	11,6	12,9	13,8	1,9
	2023	12,0	12,9	12,4	13,8	1,1
	средняя	11,8	12,2	12,7	13,6	–
Масса зерна с колоса, %	2021	0,7	1	1,0	1,0	0,1
	2022	1,0	1,0	0,9	1,1	0,2
	2023	1,0	0,9	1,1	1,1	0,1
	средняя	0,9	1,0	1,0	1,1	–
Поражение пятнистостями, балл	2021	1,5	0	1,3	1,3	–
	2022	0	0	0	0	–
	2023	2	2,5	2	1	–
	средняя	1,2	0,8	1,1	0,8	–
Поражение мучнистой росой, балл	2021	0	0	0	0	–
	2022	0	0	0	0	–
	2023	2	2,5	1	1	–
	средняя	0,7	0,8	0,3	0,3	–
Поражение карликовой ржавчиной, %	2021	0	0	0	0	–
	2022	0	0	0	0	–
	2023	1	30	0	1	–
	средняя	0,3	10	0	0,3	–
Устойчивость к полеганию, балл	2021	9	9	9	9	–
	2022	9	9	9	9	–
	2023	5	5	7	3	–
	средняя	7,7	7,7	8,3	7,0	–

Все изучаемые образцы относятся к средней группе. В среднем за три года исследований изучаемые линии 11023, 11027 и сорт Феникс превысили стандарт Формат по урожайности на 0,6–0,7 т/га. Достоверная прибавка к стандартному сорту в 2021 г. отмечена по всем изучаемым образцам, в 2022 г. значимо превысил стандарт сорт Феникс, в 2023 г. выделились линия 11023 и сорт Феникс. По массе 1000 зерен в течение всего периода объекты исследований находились на уровне стандартного сорта. По содержанию белка в зерне наибольшие значения признака отмечены у линии 11027.

В 2022 и 2023 гг. на яровом ячмене не было выявлено в полевых условиях распространения листовых болезней. В 2023 г. высокую устойчивость к поражению листовыми болезнями проявила линия 11027. Линия 11023 являлась высокоустойчивой к мучнистой росе и карликовой ржавчине. Сорт Феникс был идентифицирован как умеренно устойчивый к поражению листовыми болезнями, представленными в таблице 1.

Сопоставление морфометрических показателей и фотосинтетической активности у ячменя в контрольных (бесстрессовых) условиях

Анализ морфометрических показателей исследуемых линий ячменя в отсутствие стрессовых факторов (рис. 2) показал наибольшую длину листьев для линии 11027: $37,15 \pm 1,241$ см. Наименьшие значения длины были полу-

чены для линии 11023: $31,97 \pm 1,350$ см, у сорта Феникс длина листьев достигала $36,63 \pm 1,501$ см. Наибольшее значение сырой массы листьев было показано для сорта Феникс ($0,76 \pm 0,162$ г), наименьшее значение – для линии 11023 ($0,49 \pm 0,037$ г). Сырая масса листьев линии 11027 достигала $0,72 \pm 0,061$ г. По сухой массе листьев наибольшие значения ($0,030 \pm 0,007$ г) наблюдались у сорта Феникс, наименьшие ($0,015 \pm 0,006$ г) – у линии 11023. Для линии 11027 значения сухой массы листьев составили $0,020 \pm 0,006$ г. Показано, что линия 11023 имеет статистически значимо более низкие значения длины листьев по сравнению с линией 11027 и сортом Феникс и более низкие значения сырой массы по сравнению с линией 11027.

Наибольшая длина корней (рис. 2) была показана для линии 11027, она составила $13,95 \pm 0,728$ см. Наименьшие значения длины корней были получены для линии 11023: $12,03 \pm 1,069$ см, у сорта Феникс длина корней достигала $12,23 \pm 4,433$ см. Наибольшее значение сырой массы корней было показано для сорта Феникс ($0,078 \pm 0,009$ г), наименьшее – для линии 11023 ($0,020 \pm 0,002$ г). Сырая масса корней линии 11027 достигала $0,053 \pm 0,005$ г. По сухой массе корней наибольшие значения – $0,0030 \pm 0,0004$ г – наблюдались у сорта Феникс, наименьшие – $0,0014 \pm 0,0008$ г – у линии 11023. Для линии 11027 значения сухой массы составили $0,0018 \pm 0,0011$ г. Статистически значимые различия были показаны только по сырой массе корней, она уменьшалась в ряду Феникс – 11027–11023.

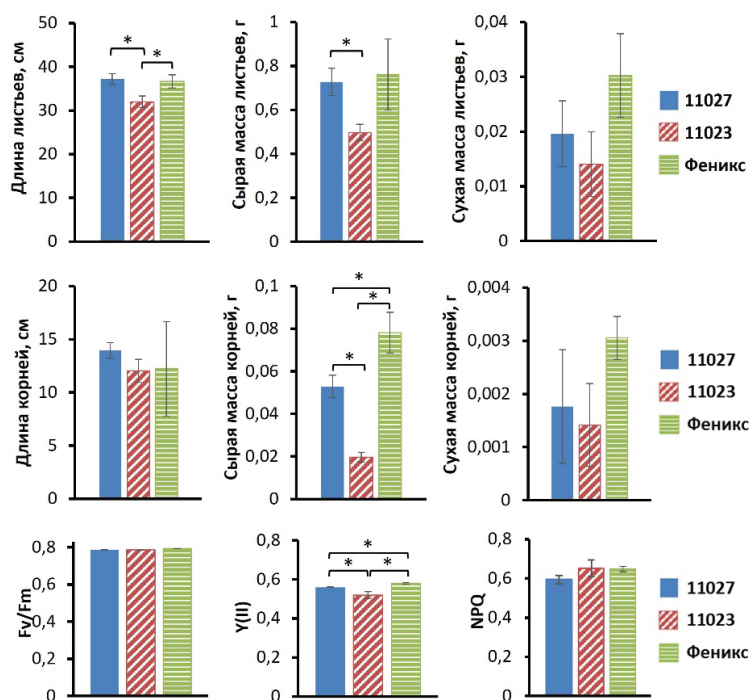


Рис. 2. Морфометрические показатели листьев и корней и параметры флуоресценции хлорофилла у растений ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс в бесстрессовых условиях

Fig. 2. Morphometric indices of leaves and roots and chlorophyll fluorescence parameters of the barley lines '11027', '11023' and the variety 'Feniks' under stress-free conditions

Примечание. * – статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Ранее было показано, что морфометрические показатели растений ячменя тесно связаны с уровнем ассимиляции CO_2 и показателями флуоресценции хлорофилла. В продолжение этих исследований в текущей работе выполнено сопоставление морфометрических показателей с показателями флуоресценции хлорофилла у изучаемых образцов ячменя. Были проанализированы показатели, отражающие эффективность работы фотосистемы II, а также количество рассеиваемой в виде тепла энергии: уровень максимальной эффективности фотохимических реакций фотосистемы II (F_v/F_m), эффективный квантовый выход фотохимических реакций фотосистемы II ($Y(II)$) и нефотохимическое тушение флуоресценции (NPQ). Зарегистрированы следующие значения для показателя F_v/F_m : $0,78 \pm 0,001$ – для линии 11027; $0,78 \pm 0,002$ – для линии 11023; $0,79 \pm 0,001$ – для сорта Феникс; $Y(II)$ составил: $0,56 \pm 0,002$ – для линии 11027; $0,52 \pm 0,018$ – для линии 11023; $0,58 \pm 0,003$ – для сорта Феникс; NPQ: $0,59 \pm 0,021$ – для линии 11027; $0,65 \pm 0,040$ – для линии 11023; $0,64 \pm 0,013$ – для сорта Феникс (рис. 2). Из всех исследованных фотосинтетических показателей статистически значимые различия были выявлены только для $Y(II)$. Его уровень у растений, выращенных в контрольных условиях, снижался в ряду Феникс – 11027 – 11023. Полученный ряд снижения величины одного из ключевых фотосинтетических

показателей $Y(II)$ Феникс – 11027 – 11023 хорошо соответствует аналогичному ряду для морфометрических показателей, включая длину листьев и сырую массу корней (рис. 2).

Влияние засухи на морфометрические показатели и фотосинтетическую активность у ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс

Анализ морфометрических параметров (длина, сырая, сухая масса листьев и корней) растений, подвергшихся засухе, показал снижение всех исследованных морфометрических показателей для всех линий ячменя. На фоне засухи значения длины листьев составили: $32,81 \pm 1,780$ см для ячменя линии 11027; $33,86 \pm 0,970$ см для линии 11023 и $24,22 \pm 3,103$ см для сорта Феникс. Сырая масса листьев составила: $0,09 \pm 0,013$ г для линии 11027; $0,13 \pm 0,016$ г для линии 11023 и $0,21 \pm 0,052$ г для сорта Феникс. Значения сухой массы листьев были: $0,013 \pm 0,004$ г для линии 11027; $0,013 \pm 0,002$ г для линии 11023 и $0,014 \pm 0,016$ г для сорта Феникс. Показано, что растения сорта Феникс имеют статистически значимо более низкие значения длины листьев в условиях засухи по сравнению с линиями 11027 и 11023, их сырая масса при этом статистически значимо превышает массу линии 11027 (рис. 3).

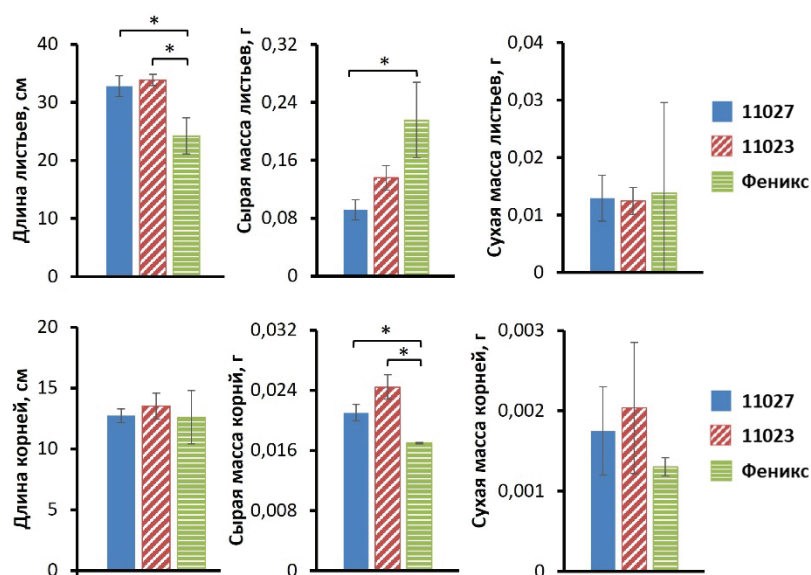


Рис. 3. Влияние засухи на морфометрические показатели листьев и корней у растений ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс

Fig. 3. Drought effect on morphometric parameters of leaves and roots of the barley lines '11027', '11023' and the variety 'Feniks'

Примечание. * – статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Наибольшая длина корней в условиях засухи была показана для линии 11023: $13,51 \pm 1,058$ см. Наименьшие значения длины были получены для сорта Феникс: $12,60 \pm 2,198$ см, у линии 11027 длина корней достигала $12,72 \pm 0,551$ см. Для сырой массы корней были зафиксированы сле-

дующие значения: $0,021 \pm 0,002$ см для линии 11027; $0,024 \pm 0,002$ см для линии 11023 и $0,017 \pm 0,001$ см для сорта Феникс. Значения сухой массы корня составили: $0,0018 \pm 0,0006$ г для линии 11027; $0,0020 \pm 0,0008$ г для линии 11023 и $0,0013 \pm 0,0001$ г для сорта Феникс. Показано, что значения сырой массы корней

у растений, подвергнутых засухе, снижаются в ряду 11023–11027–Феникс (рис. 3).

Засуха вызывает снижение интенсивности фотосинтеза, которое проявляется в снижении F_v/F_m и $Y(II)$ и увеличении NPQ (рис. 4). Наиболее перспективными показателями фотосинтеза, по которым можно прогнозировать засухоустойчивость, представляются уровень $Y(II)$ и NPQ, отражающие активность работы фотосистемы II и количество энергии, рассеиваемой в виде тепла [5]. Чувствительность линий ячменя к засухе оценивалась по времени начала изменений этих показателей флуоресценции хлорофилла. Наиболее ранние изменения всех фотосинтетических показателей были зарегистрированы у линии 11027. Уровень $Y(II)$ статистически значимо снижался относительно контроля начиная с 10-го дня засухи. Аналогичные изменения для линии 11023 начинались с 13-го дня засухи, а для сорта Феникс

не было зарегистрировано статистически значимого снижения $Y(II)$ на протяжении всего периода измерений. Полученные результаты позволяют предполагать, что наиболее устойчивыми к засухе оказались растения ячменя сорта Феникс, а наименьшую засухоустойчивость показала линия 11027. Полученные результаты хорошо соответствуют распределению, полученному для сырой массы листьев растений, подвергнутых засухе.

Активность фотосинтеза зависит от доступности CO_2 , которая тесно связана с устьичной проводимостью и транспирацией. Уровень относительной транспирации, оцениваемый по температуре листа, статистически значимо снижался начиная со 2-го дня от прекращения полива для растений линии 11027 и сорта Феникс. С 4-го дня значимое снижение транспирации также наблюдалось для растений линии 11023 (рис. 4).

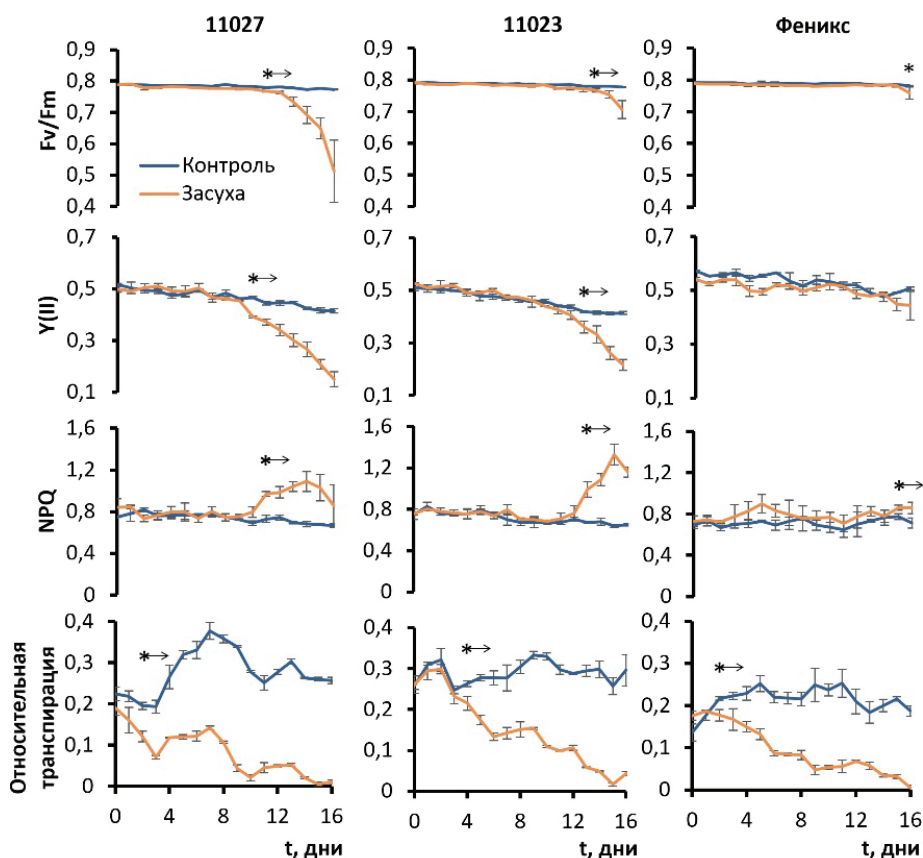


Рис. 4. Влияние засухи на динамику параметров фотосинтеза и относительной транспирации растений ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс

Fig. 4. Drought effect on the dynamics of photosynthesis parameters and relative transpiration of the barley lines '11027', '11023' and the variety 'Feniks'. The day of stopping watering is taken as 0

Примечание. За 0 принят день прекращения полива. * – статистически значимые различия, $p < 0,05$. Стрелкой обозначено наличие значимых различий для всех последующих дней после отмеченного.

Влияние солевого стресса на морфометрические показатели и фотосинтетическую активность у ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс

Засоление, как и засуха, вызывает снижение всех исследованных морфометрических показателей (длина, сырая, сухая масса листьев

и корней) для всех линий ячменя (рис. 5). Были получены следующие значения длины листьев: $32,24 \pm 1,624$ см для линии 11027; $31,36 \pm 1,501$ см для линии 11023 и $26,20 \pm 5,032$ см для сорта Феникс. Значения сырой массы листьев опытных растений составили: $0,29 \pm 0,032$ г для линии 11027; $0,26 \pm 0,016$ г для линии 11023

и $0,22 \pm 0,117$ г для сорта Феникс. Были зарегистрированы следующие значения сухой массы листьев: $0,016 \pm 0,005$ г для линии 11027; $0,013 \pm 0,004$ г для линии 11023 и $0,018 \pm 0,011$ г для сорта Феникс. Статистически значимых различий между линиями не было обнаружено ни по одному из морфометрических показателей листьев.

Наибольшая длина корней в условиях засоления была выявлена у линии 11023: $13,73 \pm 0,742$ см, наименьшая – у линии 11027: $12,37 \pm 0,728$ см, длина корней у сорта Феникс

составляла $12,60 \pm 2,198$ см. Значения сырой массы корней опытных растений составили: $0,027 \pm 0,004$ г для линии 11027; $0,021 \pm 0,001$ г для линии 11023 и $0,041 \pm 0,006$ г для сорта Феникс. Были показаны следующие значения сухой массы корней: $0,0022 \pm 0,0011$ г для линии 11027; $0,0018 \pm 0,0006$ г для линии 11023 и $0,0017 \pm 0,0014$ г для сорта Феникс (рис. 5). Статистически значимые различия зафиксированы только между сырой массой корней линии 11023 и сорта Феникс.

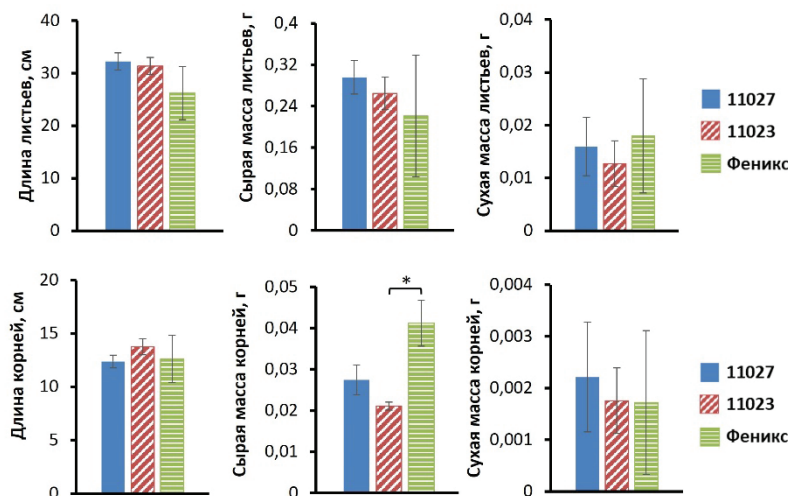


Рис. 5. Влияние солевого стресса на морфометрические показатели листьев и корней у ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс

Fig. 5. Salt stress effect on morphometric parameters of leaves and roots of the barley lines '11027', '11023' and the variety 'Feniks'

Примечание. * – статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Подобно засухе, солевой стресс вызывает снижение интенсивности фотосинтеза, которое проявляется в снижении F_v/F_m и $Y(II)$ и увеличении NPQ (рис. 6). Наиболее ранние изменения фотосинтетических показателей отмечены для линии 11027 и сорта Феникс, у которых статистически значимое снижение $Y(II)$ регистрировалось через 9 дней после начала полива солевым раствором. Аналогичные изменения у линии 11023 наступали с 12-го дня. Полученные результаты позволяют предполагать, что наиболее устойчивыми к солевому стрессу оказались растения ячменя 11023, а наименьшую устойчивость показала линия 11027.

Уровень относительной транспирации, оцениваемый по температуре листа, у линии 11027 достоверно снижается через один день после полива солевым раствором. Со 2-го дня транспирация также статистически значимо снижается у линии 11023 и сорта Феникс (рис. 6).

В ходе исследования был проведен сравнительный анализ морфометрических и фотосинтетических показателей линий 11027, 11023 и сорта Феникс в контрольных условиях,

а также в условиях засухи и солевого стресса. Морфометрические показатели оценивали по длине, сухой и сырой массе листьев и корней. Эффективность фотосинтеза оценивали по максимальному квантовому выходу фотосистемы II (F_v/F_m); эффективному квантовому выходу фотохимических реакций фотосистемы II ($Y(II)$) и нефотохимическому тушению флуоресценции (NPQ). Показано, что в контрольных условиях линия 11023 имеет статистически значимо более низкие значения длины листьев по сравнению с линией 11027 и сортом Феникс: для линии 11027 значения составили $37,15 \pm 1,241$ см, для линии 11023 – $31,97 \pm 1,350$ см, у сорта Феникс длина листьев достигала $36,63 \pm 1,501$ см. Также выявлены статистически значимо пониженные значения сырой массы листьев у линии 11023 по сравнению с линией 11027 (значения составили $0,49 \pm 0,037$ г и $0,72 \pm 0,061$ г соответственно). Статистически значимые различия были показаны у всех исследуемых групп растений по сырой массе корней, которая уменьшалась в ряду Феникс–11027–11023. Для сорта Феникс значения составили $0,078 \pm 0,009$ г, для линии 11027 – $0,053 \pm 0,005$ г, для линии 11023 –

$0,020 \pm 0,002$ г. По показателю фотосинтеза $Y(II)$ также между всеми исследуемыми группами растений наблюдались статистически значимые различия. Уровень $Y(II)$ снижался в ряду

Феникс–11027–11023 (значения составили $0,58 \pm 0,003$; $0,56 \pm 0,002$ и $0,52 \pm 0,018$ соответственно).

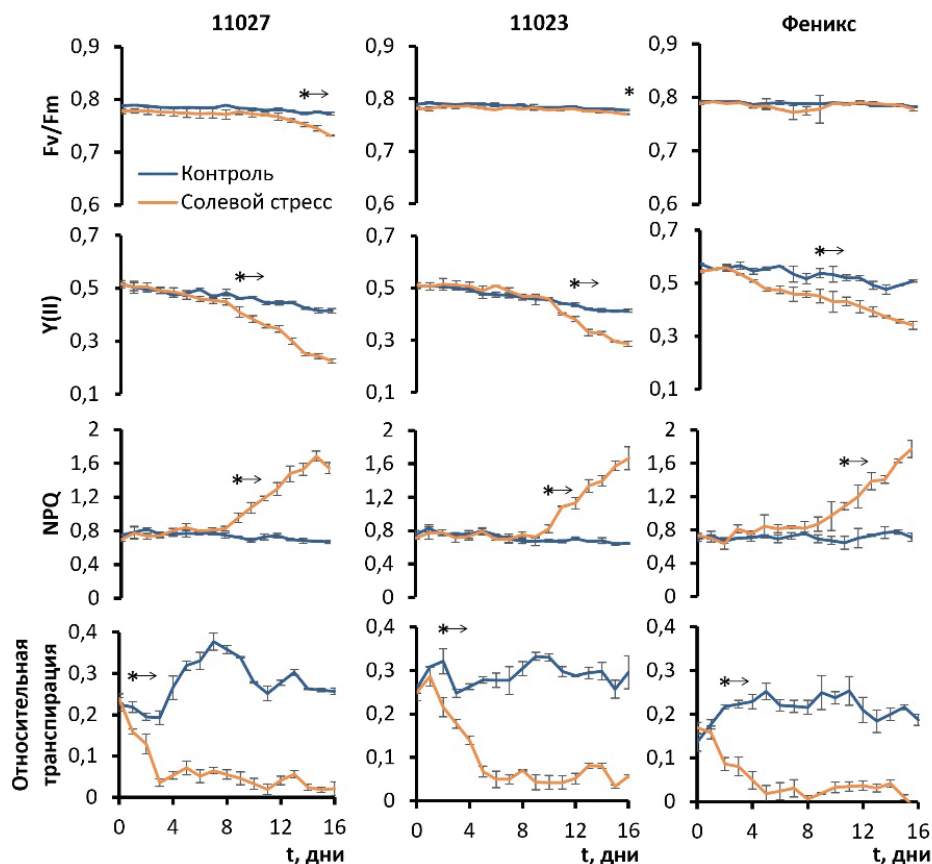


Рис. 6. Влияние солевого стресса на динамику параметров фотосинтеза и относительной транспирации растений ячменя линий 11027, 11023 и сорта Феникс

Fig. 6. Salt stress effect on the dynamics of photosynthesis parameters and relative transpiration of the barley lines '11027', '11023' and the variety 'Feniks'

Примечание. За 0 принят день прекращения полива. * – статистически значимые различия, $p < 0,05$. Стрелкой обозначено наличие значимых различий для всех последующих дней после отмеченного.

Показано, что в условиях засухи растения сорта Феникс имеют статистически значимо более низкие значения длины листьев по сравнению с линиями 11027 и 11023, их сырая масса при этом статистически значимо превышает массу линии 11027. Значения длины листьев составили: $32,81 \pm 1,780$ см для ячменя линии 11027; $33,86 \pm 0,970$ см для линии 11023 и $24,22 \pm 3,103$ см для сорта Феникс. Сырая масса листьев составила: $0,09 \pm 0,013$ г для линии 11027 и $0,21 \pm 0,052$ г для сорта Феникс. В условиях водного дефицита сырая масса корней сорта Феникс имела статистически значимо пониженные значения по сравнению с линиями 11027 и 11023. Показано, что значения сырой массы корней у растений, подвергнутых засухе, снижаются в ряду 11023–11027–Феникс ($0,024 \pm 0,002$ см, $0,021 \pm 0,002$ см и $0,017 \pm 0,001$ см соответственно). Наиболее ранние изменения всех фотосинтетических показателей при засухе были зарегистрированы у линии 11027. Уровень $Y(II)$ статистически значи-

мо снижался относительно контроля начиная с 10-го дня засухи. Аналогичные изменения для линии 11023 начинались с 13-го дня засухи, а для сорта Феникс не было зарегистрировано статистически значимого снижения $Y(II)$ на протяжении всего периода измерений. Уровень относительной транспирации, оцениваемый по температуре листа, статистически значимо снижался начиная со 2-го дня от прекращения полива для растений линии 11027 и сорта Феникс. С 4-го дня значимое снижение транспирации также наблюдалось для растений линии 11023.

В условиях засоления статистически значимые различия по морфометрическим показателям зафиксированы только по сырой массе корней линии 11023 и сорта Феникс (значения составили $0,021 \pm 0,001$ г для линии 11023 и $0,041 \pm 0,006$ г для сорта Феникс). Наиболее ранние изменения фотосинтетических показателей отмечены для линии 11027 и сорта Феникс, у которых статистически значимое

снижение Y(II) регистрировалось через 9 дней после начала полива солевым раствором. Аналогичные изменения у линии 11023 наступали с 12-го дня. Уровень относительной транспирации у линии 11027 достоверно снижается через 1 день после полива солевым раствором. Со 2-го дня транспирация также статистически значимо снижается у линии 11023 и сорта Феникс.

Выводы.

1. Показано, что в отсутствие стрессоров морфометрические параметры и активность фотосинтеза, оцениваемая по показателям флуоресценции хлорофилла, сорта Феникс и линии 11027 (Зерноградский 1895) выше, чем аналогичные показатели линии 11023 (Зерноградский 1898).

2. Выявлена различная устойчивость образцов ярового ячменя селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» к засухе и солевому стрессу. Самыми устойчивыми к засухе оказались растения сорта Феникс, а наименьшую засухоустойчивость

показала линия 11027 (Зерноградский 1895), проявив наиболее ранние изменения фотосинтетических показателей. Наиболее устойчивой к солевому стрессу оказалась линия 11023 (Зерноградский 1898), а наименьшую устойчивость демонстрирует линия 11027 (Зерноградский 1895).

3. Показатели флуоресценции хлорофилла, имеющие сходные паттерны распределения с традиционными морфометрическими показателями, позволяют получить более надежные статистически значимые различия между исследуемыми линиями с использованием меньшего количества индивидуальных растений, чем требуется для накопления данных морфометрии, что является важным преимуществом метода для использования в селекционной работе.

Финансирование. Государственное задание № 5ф.6.3 НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ. Государственное задание № 0505-2022-0002 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Дорошенко Е. С., Дорошенко Э. С., Шишкин Н. В. Полная иммунологическая характеристика коллекции голозерного ячменя в условиях южной зоны // Аграрный вестник Урала. 2022. № 8(223). С. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26
2. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum* L. Л., 1983. 56 с.
3. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: ООО «Группа компаний Море», 2019. 384 с.
4. Методические указания ВИР по изучению мировой коллекции овса, ржи, ячменя. СПб., 2012. 63 с.
5. Немцова Ю. А., Кузнецова Д. В., Гринберг М. А., Воденеев В. А., Донцова А. А., Донцов Д. П., Бондаренко В. С., Волкова П. Ю., Бондаренко Е. В. Y(II) и NPQ – перспективные показатели фотосинтеза для прогнозирования засухоустойчивости ячменя // Зерновое хозяйство России. 2023. № 6(15). С. 43–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-43-51
6. Abdullaev F., Pirogova P., Vodeneev V., Sherstneva O. Chlorophyll Fluorescence in Wheat Breeding for Heat and Drought Tolerance // Plants. 2024. Vol. 13, Article number: 2778. DOI: 10.3390/plants13192778
7. Jackson R. D., Idso S. B., Reginato R. J., Pinter P. J. Canopy temperature as a crop water stress indicator // Water Resour Res. 1981. Vol. 17, Article number: 1133–1138.
8. Ladeynova M., Mudrilov M., Berezina E. Spatial and Temporal Dynamics of Electrical and Photosynthetic Activity and the Content of Phytohormones Induced by Local Stimulation of Pea Plants // Plants. 2020. Vol. 9, Article number: 1364. DOI: 10.3390/plants9101364
9. Maxwell K., Johnson G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide // Journal of experimental botany. 2000. Vol. 51, P. 659–668. DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659
10. Sharma A., Kumar V., Shahzad B., Ramakrishnan M., Singh Sidhu G. P., Bali A. S., Handa N., Kapoor D., Yadav P., Khanna K. et al. Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review // Plant Growth Regul. 2020. Vol. 39, P. 509–531. DOI: 10.1007/s00344-019-10018-x
11. Stefanov M. A., Rashkov G. D., Apostolova E. L. Assessment of the Photosynthetic Apparatus Functions by Chlorophyll Fluorescence and P700 Absorbance in C3 and C4 Plants under Physiological Conditions and under Salt Stress // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, Article number: 3768. DOI: 10.3390/ijms23073768
12. Wang W., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance // Plants. 2003. Vol. 218, Iss. 1. P. 1–14. DOI: 10.1007/s00425-003-1105-5

References

1. Doroshenko E. S., Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Polnaya immunologicheskaya kharakteristika kollektsii golozernogo yachmenya v usloviyakh yuzhnoi zony [Complete immunological characteristics of the hulless barley collection in the southern area] // Agrarnyi vestnik Urala. 2022. № 8(223). S. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26
2. Mezhdunarodnyi klassifikator SEV roda *Hordeum* L. [International classifier of the COMECON of *Hordeum* L.]. L., 1983. 56 s.
3. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M.: ООО «Группа компаний Море», 2019. 384 s.
4. Metodicheskie ukazaniya VIR po izucheniyu mirovoi kollektsii ovsa, rzhi, yachmenya [Methodical recommendations of IPI for studying the world collection of oats, rye, barley]. SPb., 2012. 63 s.

5. Nemtsova Yu. A., Kuznetsova D. V., Grinberg M. A., Vodeneev V. A., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Bondarenko V. S., Volkova P. Yu., Bondarenko E. V. Y(II) i NPQ – perspektivnye pokazateli fotosinteza dlya prognozirovaniya zasukhoustoichivosti yachmenya [The promising photosynthesis indicators Y(II) and NPQ to predict drought resistance of barley] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. № 6(15). S. 43–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-43-51
6. Abdullaev F., Pirogova P., Vodeneev V., Sherstneva O. Chlorophyll Fluorescence in Wheat Breeding for Heat and Drought Tolerance // *Plants*. 2024. Vol. 13, Article number: 2778. DOI: 10.3390/plants13192778
7. Jackson R. D., Idso S. B., Reginato R. J., Pinter P. J. Canopy temperature as a crop water stress indicator // *Water Resour. Res.* 1981. Vol. 17, Article number: 1133–1138.
8. Ladeynova M., Mudrilov M., Berezina E. Spatial and Temporal Dynamics of Electrical and Photosynthetic Activity and the Content of Phytohormones Induced by Local Stimulation of Pea Plants // *Plants*. 2020. Vol. 9, Article number: 1364. DOI: 10.3390/plants9101364
9. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence-a practical guide // *Journal of experimental botany*. 2000. Vol. 51, P. 659–668. DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659
10. Sharma A., Kumar V., Shahzad B., Ramakrishnan M., Singh Sidhu G. P., Bali A. S., Handa N., Kapoor D., Yadav P., Khanna K. et al. Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review // *Plant Growth Regul.* 2020. Vol. 39, P. 509–531. DOI: 10.1007/s00344-019-10018-x
11. Stefanov M. A., Rashkov G. D., Apostolova E. L. Assessment of the Photosynthetic Apparatus Functions by Chlorophyll Fluorescence and P700 Absorbance in C3 and C4 Plants under Physiological Conditions and under Salt Stress // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, Article number: 3768. DOI: 10.3390/ijms23073768
12. Wang W., Vinocur B., Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance // *Plants*. 2003. Vol. 218, Iss. 1. P. 1–14. DOI: 10.1007/s00425-003-1105-5

Поступила: 30.10.24; доработана после рецензирования: 13.01.25; принята к публикации: 13.01.25.

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. Бондаренко Е. В., Воденеев В. А., Бондаренко В. С. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; Гринберг М. А., Донцова А. А., Немцова Ю. А., Иванова А. В., Донцов Д. П., Пирогова П. А. – подготовка и выполнение экспериментальных лабораторных и полевых работ и сбор данных; Гринберг М. А., Донцова А. А., Немцова Ю. А., Иванова А. В., Бондаренко В. С., Бондаренко Е. В., Воденеев В. А. – визуализация, обработка и анализ данных и их интерпретация; Гринберг М. А., Бондаренко Е. В. и Донцова А. А. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБРИДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ *LINUM USITATISSIMUM* L. ПО АДАПТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЯ

К. П. Королёв, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры, korolevkonstantin799@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9595-3493;

Д. В. Одинцева, студент бакалавриата Школы естественных наук

А. Н. Якубенко, студент бакалавриата Школы естественных наук
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
625003, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 6

Важным компонентом при создании новых сортов льна является наличие ценного разнообразного исходного материала. В представленной статье отражены результаты тестирования гибридных популяций льна-долгунца (F_3 – F_5): ♀Ярок × ♂Грант (Gen 1), ♀Ярок × ♂Alizee (Gen 2), ♀Ярок × ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 3), ♀Alizee × ♂Грант (Gen 4), ♀Alizee × ♂Ярок (Gen 5), ♀Alizee × ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 6), ♀Грант × ♂Ярок (Gen 7), ♀Грант × ♂Alizee (Gen 8), ♀Грант × ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 9), ♀Betertelsdorf 6884/60 × ♂Ярок (Gen 10), ♀Betertelsdorf 6884/60 × ♂Ярок (Gen 11), ♀Betertelsdorf 6884/60 × ♂Ярок (Gen 12), полученных при межсортовой гибридизации по параметрам адаптивности в полевом испытании (Нижнетавдинский район Тюменской области). Цель исследования – выявление адаптивности гибридных популяций льна-долгунца по основным хозяйственно значимым признакам и свойствам, отбор лучших из них для дальнейшей селекционной работы в условиях Тюменской области. Установлена значимость ($p < 0,05^*$; $p < 0,01^{**}$) генотипа (16,1–40,0 %), среды (16,9–41,6 %), взаимодействия генотипа и среды (26,4–48,5 %) в реализации фенотипической изменчивости изученных морфо-биологических показателей. К отзывчивым ($b_i < 1$, $S^2d_i = 0$) было отнесено от 25,0 до 66,6 % генотипов льна-долгунца, при этом максимальными значениями на действие экологического фактора в данном пункте характеризовались популяции Gen 1, Gen 2, Gen 3, Gen 4, Gen 5, Gen 6. Стабильность признаков ($b_i = 1,0$, $S^2d_i = 0$) была отмечена у 8,3–16,6 % от общего числа изученных популяций, к которым были отнесены Gen 1, Gen 2, Gen 5. Из слабо отзывчивых ($b_i = 1,0$, $S^2d_i = 0$), которые составляли 25,0–58,3 % из числа представленных, ценность имели Gen 3, Gen 5, Gen 6, Gen 7, Gen 9, Gen 11. По индексу отбора генотипа (GSI) выделены группы как стабильных (41,6 %), так и нестабильных (58,4 %), из которых отмечены Gen 1, Gen 5, Gen 9. К перспективным популяциям с высокой степенью проявления тестируемых показателей и лучшей экологической характеристикой для дальнейшего селекционного использования рекомендуются Gen 1, Gen 2, Gen 5, Gen 6.

Ключевые слова: лен-долгунец, гибридная популяция, факторы среды, многофакторный анализ, изменчивость.

Для цитирования: Королёв К. П., Одинцева Д. В., Якубенко А. Н. Характеристика гибридных популяций *Linum usitatissimum* L. по адаптивности в условиях Северного Зауралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 26–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-26-32.



CHARACTERISTICS OF HYBRID POPULATIONS OF *LINUM USITATISSIMUM* L. ACCORDING TO ADAPTABILITY IN THE NORTHERN TRANS-URALS

K. P. Korolev, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of botany, biotechnologies and landscape architecture, korolevkonstantin799@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9595-3493;

D. V. Odintseva, bachelor's student of School of Natural Sciences

A. N. Yakubenko, bachelor's student of School of Natural Sciences

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University,
625003, Tyumen, Volodarsky Str., 6

An important issue in the development of new fiber flax varieties is the availability of valuable, diverse initial material. The current paper has presented the study results of hybrid populations of fiber flax (F_3 – F_5), such as ♀Yarok × ♂Grant (Gen1), ♀Yarok × ♂Alizee (Gen 2), ♀Yarok × ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 3), ♀Alizee × ♂Grant (Gen 4), ♀Alizee × ♂Yarok (Gen 5), ♀Alizee × ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 6), ♀Grant × ♂Yarok (Gen 7), ♀Grant × ♂Alizee (Gen 8), ♀Grant × ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 9), ♀Betertelsdorf 6884/60 × ♂Yarok (Gen 10), ♀Betertelsdorf 6884/60 × ♂Yarok (Gen 11), ♀Betertelsdorf 6884/60 × ♂Yarok (Gen 12), resulted in the intervarietal hybridization according to adaptability parameters in a field trial (Nizhnetavdinsky district, Tyumen region). The purpose of the current study was to identify the adaptability of hybrid fiber flax populations according to the main economically significant traits and properties, and to select the best of them for further breeding work in the Tyumen region. There has been determined significance ($p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$) of genotype (16.1–40.0 %), environment (16.9–41.6 %), and correlation between genotype and environment (26.4–48.5 %) in the implementation of phenotypic variability of the studied morpho-biological parameters. From 25.0 to 66.6 % of flax genotypes were classified as responsive ($b_i < 1$, $S^2d_i = 0$), and the populations Gen1, Gen2, Gen3, Gen4, Gen5, Gen6 had the maximum values of the effect of the environmental factor. Stability of traits ($b_i = 1,0$, $S^2d_i = 0$) was identified in 8.3–16.6 % of the total number

of studied populations, which included Gen1, Gen2, Gen5. Among the weakly responsive populations ($b_i = 1,0$, $S^2d_i = 0$), being 25.0–58.3 % of those presented, Gen3, Gen5, Gen 6, Gen 7, Gen 9, Gen 11 were of the most value. According to the genotype selection index (GSI), there have been established the groups of both stable (41.6 %) and unstable (58.4 %) populations, among which Gen 1, Gen 5, Gen 9 were the best ones. Gen 1, Gen 2, Gen 5, Gen 6 can be recommended for further breeding as promising populations with highly manifested indicators and the best ecological characteristics.

Keywords: fiber flax, hybrid population, environmental factors, multivariate analysis, variability.

Введение. Лен-долгунец – одно из древнейших сельскохозяйственных растений, широко выращиваемый во многих странах мира для получения волокна и масла (Рожмина и др., 2017; Dhirhi and Mehta, 2019; Кутузова и др., 2020). В связи с наблюдаемой тенденцией изменения климата требования к сортам постепенно возрастают, что обуславливает дальнейшее усовершенствование селекционного процесса, использование при создании нового исходного материала достижений в различных областях науки (Ушаповский и др., 2016, Трабурова и Рожмина, 2018).

Для более комплексного подхода требуется изучение адаптивного статуса растений, проведение дальнейших исследований по изучению генотип-средового взаимодействия, ограничивающего полную реализацию биологического потенциала сортов в различных экологических условиях среды (Королёв и др., 2017; Куземкин и Рожмина, 2022; Степин и др., 2022).

Генотип и его взаимодействие со средой – это сложный механизм, требующий при его анализе различных методов, информативность которых позволяет раскрыть его структуру (GxE), при этом в ряде случаев данное взаимодействие может быть ограничено двумя или тремя главными компонентами.

Агроклиматические условия Тюменской области различаются, что вызывает необходимость более тщательного подхода при подборе сортов, разработке их зональной ресурсосберегающей технологии выращивания. Возделывание льна в области ограничено отсутствием современных районированных сортов, которые наряду с высокой продуктивностью, показателями качества должны характеризоваться и высокой адаптивностью. Отсутствие комплексной информации о реакции гибридных популяций льна-долгунца на экологические условия этой зоны по изученным показателям и вызвало необходимость выполнения данной работы.

Цель исследования – выявление адаптивности гибридных популяций льна-долгунца по основным хозяйственно значимым признакам и свойствам, отбор лучших из них для дальнейшей селекционной работы в условиях Тюменской области.

Материалы и методы исследований.

Для изучения использовали гибридные популяции льна-долгунца (F_3-F_5): ♀Ярок х ♂Грант (Gen 1), ♀Ярок х ♂Alizee (Gen 2), ♀Ярок х ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 3), ♀Alizee х ♂Грант (Gen 4), ♀Alizee х ♂Ярок (Gen 5), ♀Alizee х ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 6), ♀Грант х ♂Ярок (Gen 7), ♀Грант х ♂Alizee (Gen 8), ♀Грант х ♂Betertelsdorf 6884/60 (Gen 9),

♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (Gen 10), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (Gen 11), ♀Betertelsdorf 6884/60 х ♂Ярок (Gen 12). Для выявления лучших генотипов их сравнивали со средним популяционным значением.

Полевое испытание популяций проводили в 2020–2022 гг. на биологической станции «Озеро Кучак» ТюмГУ (Нижнетавдинский район, Тюменская обл., 57°21' с. ш., 66°04' в. д.). Межсортные скрещивания (диаллельная схема, 4х4) выполняли по общепринятой методике. Почва экспериментального участка дерново-подзолистая, супесчаная, содержание гумуса – 3,6 %, подвижных форм (P_2O_5) – 433,3 мг/кг почвы, обменного (K_2O) – 234,0 мг/кг почвы. Закладку полевых опытов, выполнение всех необходимых наблюдений выполняли в соответствии с указаниями (Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.), 2011).

Климатические условия в годы проведения исследований имели различия (по сравнению со среднепогодными показателями) как по температуре, так и по количеству выпавших осадков. Период прорастания и появления всходов у льна характеризовался недостатком влаги в 2020 году. Во время фенологической фазы «елочки» условия по тепло- и влагообеспеченности были близки к норме в 2021 и 2022 годах. Негативные засушливые условия отмечены в 2020 и 2021 гг. в период цветения гибридных растений. В фазу «зеленая спелость» растений у льна климатические параметры были на уровне среднепогодных показателей. Этап образования плодов и дальнейшего формирования семян характеризовался недостатком влаги и высокой температурой в 2021 г. при избыточной влажности в 2022 году. Согласно гидротермическому коэффициенту (по Селянинову) условия вегетационного периода роста и развития растений льна были от слабо засушливых (ГТК = 1,2) до влажных (ГТК = 1,6), что позволило более полно оценить их потенциал в данном экологическом пункте.

Статистическую обработку полученных данных выполняли с использованием многофакторного дисперсионного анализа по Доспехову Б. А. (2014) в программе Statistica 7.0 (Statsoft Inc., США). Достоверность различий между популяциями устанавливали на основании критерия Дункана. Показатели S^2d_i и b_i определяли по методу (Eberhart et. al., 1966). Гибридные популяции анализировали с использованием индекса отбора генотипа, GSI (Mohammadi et. al., 2008) и индекса устойчивости, SI (Rao et. al., 2004).

Результаты и их обсуждение. При создании сортов культурных растений необходимо наличие источников с высокой степенью проявления количественных и качественных хозяйственно ценных признаков и свойств (Кутузова и др., 2020) наряду с адаптивностью, которые могут обеспечить свой агробиологи-

ческий потенциал (Попова и др., 2023; Langan et al., 2023) при выращивании в различных условиях, при этом важна оценка взаимодействия генотипа и среды.

На первом этапе полученные данные полевого испытания обрабатывали методом дисперсионного анализа (табл. 1).

Таблица 1. Результаты многофакторного дисперсионного анализа гибридных популяций льна-долгунца (2020–2022 гг.)
Table 1. Results of multivariate analysis of variance of hybrid fiber flax populations (2020–2022)

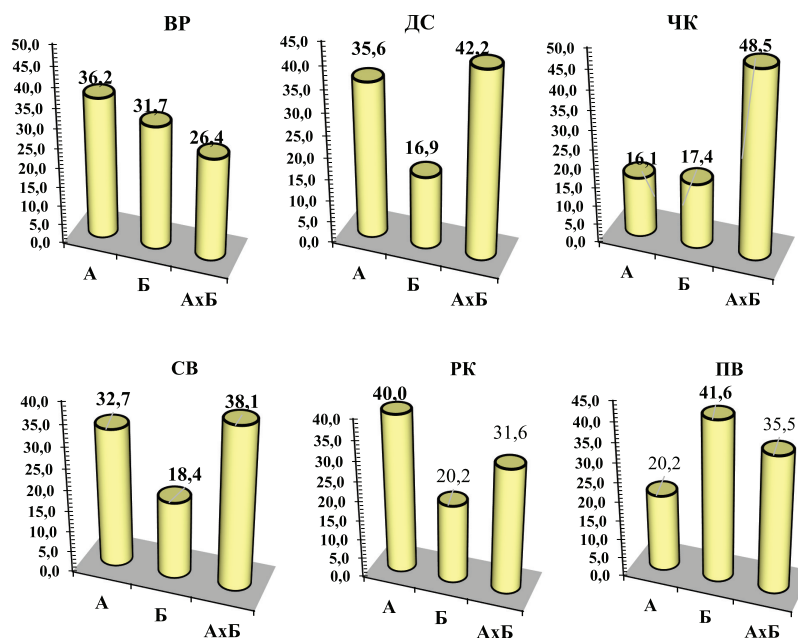
Источник дисперсии	df	mS					
		А	Б	В	Г	Д	Е
Генотип (фактор А)	11	103,82**	64,15**	35,11**	94,59**	175,26**	52,28**
Среда (фактор Б)	2	97,85*	152,32**	102,54**	28,41*	82,91*	19,32*
Взаимодействие генотипа и среды (фактор АхБ)	20	117,24**	101,89**	142,81**	88,15**	115,63**	77,91**
Случайное (В)	15	19,42	48,25	16,30	10,22	26,66	11,04

Примечание. df – число степеней свободы, mS – средний квадрат. Различия между генотипами достоверны: $p < 0,05^*$; $p < 0,01^{**}$. Высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в одной коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е).

По результатам многофакторного дисперсионного анализа установлены достоверные различия между генотипами ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$), средами ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$), взаимодействие генотипа и среды ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^*$) по изученным тест-критериям.

Важным для дальнейших селекционно-генетических исследований является определение в структуре фенотипической изменчивости процентного вклада каждого из компонентов. В общей вариабельности показателей доля генотипа составляла 16,1–40,0 %, сре-

ды – 16,9–41,6 %, взаимодействие генотипа со средой – 26,4–48,5 %. Случайный фактор был незначителен. Формирование размера коробочки на 40,0 % обуславливали генотипические особенности. Высота растений, число коробочек на одном растении, период вегетации зависели от средовых условий (20,2–41,6 %). Длина соцветия, число коробочек на одном растении, содержание волокна были обусловлены взаимодействием генотипа со средой (38,1–48,5 %) (см. рисунок).



Вклад факторов в общую фенотипическую изменчивость показателей у гибридных популяций льна-долгунца, F₃–F₅
Contribution of factors to the total phenotypic variability of indicators in hybrid fiber flax populations, F₃–F₅

Примечание. Факторы: А (генотип), Б (среда), В (взаимодействие генотип х среда), В (случайное), VP (высота растения), ДС (длина соцветия), ЧК (число коробочек), СВ (содержание волокна), РК (растрескиваемость коробочки), ПВ (период вегетации).

Экологический потенциал гибридных популяций льна-долгунца в данной агроклиматической зоне оценивали с использованием раз-

личных методов. По первому (Eberhart et. al., 1966) были выделены три группы генотипов (табл. 2).

Таблица 2. Распределение гибридных комбинаций льна-долгунца по отзывчивости на изменения условий выращивания (метод Eberhart et.al., 1966), F_3-F_5
Table 2. Distribution of hybrid fiber flax populations according to responsiveness in growing conditions (Eberhart et.al., 1966 method), F_3-F_5

Группа	А	Б	В	Г	Д	Е
Отзывчивые, $b_i < 1$, $S^2d_i = 0$	Gen1, Gen 3, Gen 4, Gen 5, Gen 7, Gen 8, Gen 10, Gen 12	Gen 1, Gen 3, Gen 6, Gen 11	Gen 3, Gen 4, Gen 7, Gen 10, Gen 11	Gen 1, Gen 2, Gen 3, Gen 4	Gen 1, Gen 4, Gen 6, Gen 12	Gen 1, Gen 4, Gen 10
Стабильные, $b_i = 1,0$, $S^2d_i = 0$	Gen 2	Gen 4, Gen 5	Gen 1, Gen 2	Gen 5, Gen 6	Gen 8, Gen 9	Gen 3, Gen 5
Слабо отзывчивые, $b_i > 1$, $S^2d_i = 0$	Gen 6, Gen 9, Gen 11	Gen 2, Gen 7, Gen 8, Gen 9, Gen 10, Gen 12	Gen 5, Gen 6, Gen 8, Gen 9, Gen 12	Gen 7, Gen 8, Gen 9, Gen 10, Gen 11, Gen 12	Gen 2, Gen 3, Gen 5, Gen 7, Gen 10, Gen 11	Gen 2, Gen 6, Gen 7, Gen 8, Gen 9, Gen 11, Gen 12

Примечание. Высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в одной коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е).

В первой группе (высоко отзывчивые, $b_i < 1$, $S^2d_i = 0$) было выявлено от 25,0 до 66,6 % генотипов. Из них для дальнейшего отбора представляли ценность Gen 1, Gen 10 (период вегетации), Gen 1, Gen 5 (высота растений), Gen 1 (длина соцветия), Gen 3, Gen 7 (число коробочек), Gen 2, Gen 4 (число семян в одной коробочке), Gen 4, Gen 6 (содержание волокна).

Во вторую, немногочисленную, группу (стабильные, $b_i = 1,0$, $S^2d_i = 0$) отнесено от 8,3 до 16,6 % популяций. По высоте растений выделены Gen 2, длине соцветия – Gen 4, Gen 5, числу коробочек – Gen 1.

К популяциям, характеризующимся слабой отзывчивостью ($b_i > 1$, $S^2d_i = 0$), отнесены 25,0–58,3 % генотипов. Из перспективных

для отбора следует отметить высокорослые популяции (Gen 6, Gen 9), с большей длиной соцветия (Gen 2, Gen 12), числом семян в одной коробочке (Gen 5, Gen 6), содержанием волокна (Gen 1, Gen 5), коротким периодом вегетации (Gen 7).

Для тестинга генотипов льна-долгунца использовали индекс устойчивости (SI), отражающий статус растений с учетом их уровня признака и стабильности (Rao et. al., 2004). У представленных популяций данный оценочный критерий варьировал в пределах от 6,9 до 81,2 %, при этом максимальное количество популяций было отнесено к группе со средней устойчивостью (SI = 41,0–60,0 %) по набору изученных показателей (табл. 3).

Таблица 3. Распределение гибридных комбинаций льна-долгунца по индексу устойчивости (SI, Rao et.al., 2004), F_3-F_5
Table 3. Distribution of hybrid fiber flax populations according to sustainability index (SI, Rao et.al., 2004), F_3-F_5

Группа по устойчивости	А	Б	В	Г	Д	Е
Очень низкая, SI = <20,0%	Gen 2	Gen 1	Gen 2, Gen 7	Gen 5	Gen 5	Gen 12
Низкая, SI = <21,0–40,0%	Gen 3	Gen 4, Gen 6	Gen 1, Gen 10	Gen 4, Gen 8	Gen 8, Gen 11	Gen 5, Gen 6
Средняя, SI = 41,0–60,0 %	Gen 1, Gen 5, Gen 6, Gen 7, Gen 11, Gen 12	Gen 2, Gen 7, Gen 8, Gen 10, Gen 11, Gen 12	Gen 3, Gen 4, Gen 9, Gen 12	Gen 3, Gen 6, Gen 7, Gen 10, Gen 12	Gen 1, Gen 2, Gen 3, Gen 7, Gen 9, Gen 10	Gen 2, Gen 3, Gen 4, Gen 7, Gen 8, Gen 9, Gen 11
Высокая, SI = 61,0–80,0 %	Gen 4, Gen 8, Gen 9, Gen 10	Gen 5, Gen 9	Gen 6, Gen 8, Gen 11	Gen 1, Gen 2, Gen 11, Gen 9	Gen 4, Gen 6, Gen 12	Gen 1, Gen 10
Очень высокая, SI = >80,0 %	–	Gen 3	Gen 5	–	–	–

Примечание. Высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в одной коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е).

Выделено незначительное количество популяций с высокой устойчивостью по высоте растений и числу семян в одной коробочке (33,3 %), числу коробочек, содержанию воло-

на (25,0 %), длине соцветия и периоду вегетации (16,6 %), из которых представляют дальнейшую ценность популяции Gen 1, Gen 2, Gen 4. По комплексной диагностике в группе

очень высокоустойчивых ($SI = >80,0\%$) генотипов были отмечены гибридные популяции Gen 3, Gen 5.

Полученные результаты по изученным гибридным комбинациям обрабатывали с использованием индекса отбора генотипа (GSI) (табл. 3). Согласно данному методическому подходу наибольшую значимость имеют генотипы с минимальным значением индекса (Mohammadi et.al., 2008).

Были выделены группы как стабильных ($GSI = >0$), так и нестабильных популяций ($GSI = <0$) льна-долгунца. Следует отметить комбинации с максимальным уровнем проявления признаков. Например, высокорослостью и меньшим периодом вегетации характеризовалась одна популяция – Gen 1; по длине соцветия – Gen 5, Gen 6, числу коробочек – Gen 1, Gen 2; числу семян в одной коробочке – Gen 5, Gen 8; содержанию волокна – Gen 1, Gen 5, которые можно рекомендовать для дальнейшего селекционного использования (табл. 4).

Таблица 4. Распределение гибридных комбинаций льна-долгунца по стабильности (метод Mohammadi et.al., 2008), F_3-F_5

Table 4. Distribution of hybrid fiber flax populations according to stability (Mohammadi et. al., 2008 method), F_3-F_5

Группа	А	Б	В	Г	Д	Е
Стабильные, $GSI = >0$	Gen 1, Gen 5, Gen 7	Gen 2, Gen 5, Gen 6, Gen 10	Gen 1, Gen 2, Gen 5, Gen 9	Gen 1, Gen 5, Gen 8	Gen 1, Gen 5, Gen 9	Gen 1, Gen 3, Gen 5, Gen 11, Gen 12
Нестабильные, $GSI = <0$	Gen 2, Gen 3, Gen 4, Gen 6, Gen 8, Gen 9, Gen 10, Gen 11, Gen 12	Gen 1, Gen 3, Gen 4, Gen 7, Gen 8, Gen 9, Gen 11, Gen 12	Gen 3, Gen 4, Gen 6, Gen 7, Gen 8, Gen 10, Gen 11, Gen 12	Gen 2, Gen 3, Gen 4, Gen 6, Gen 7, Gen 9, Gen 10, Gen 11, Gen 12	Gen 2, Gen 3, Gen 4, Gen 6, Gen 7, Gen 8, Gen 10, Gen 11, Gen 12	Gen 2, Gen 4, Gen 6, Gen 7, Gen 8, Gen 9, Gen 10

Примечание. Высота растений (А), длина соцветия (Б), число коробочек (В), число семян в одной коробочке (Г), содержание волокна (Д), период вегетации (Е).

Выявление генотипов с высокими адапто-продукционными показателями является важной частью при создании новых сортов льна (Dhirhi et. al., 2019; Попова и др., 2019). Выделен ряд популяций, характеризующихся данной комплексностью, установленной согласно используемым критериям, что указывает на возможность отбора генотипов, представляющих наибольший интерес в данном агроэкологическом пункте.

Выводы. Таким образом, согласно результатам исследований установлены значимости ($p < 0,05^*$; $p < 0,01^{**}$) генотипа (16,1–40,0 %), среды (16,9–41,6 %), взаимодействия генотипа и среды (26,4–48,5 %) при реализации общей фенотипической изменчивости тестируемых показателей. Выявлены группы различных

популяций льна-долгунца по отзывчивости на изменчивость условий выращивания и стабильности, из которых наибольшую ценность для дальнейшего отбора представляют Gen 1, Gen 3, Gen 5, Gen 6, Gen 7, Gen 9, Gen 11. По индексу устойчивости (SI) выделены популяции Gen 1, Gen 2, Gen 5, Gen 6, Gen 8. Отобраны ценные генотипы льна-долгунца для дальнейшего селекционного использования по индексу GSI: Gen 1, Gen 2, Gen 5, Gen 6, Gen 8. Для селекционной работы наибольший интерес представляют гибридные популяции Gen 1, Gen 2, Gen 5, Gen 6, для которых характерны максимальный уровень фенотипического проявления признака и свойств адаптивности при экологическом изучении в условиях Тюменской области.

Библиографический список

1. Рожмина Т. А., Рыжов А. И., Куземкин И. А., Киселева Т. С. Внутривидовое разнообразие льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) и его роль в решении проблемы создания отечественной сырьевой базы // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 12. С. 17–20.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 352 с.
3. Королёв К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 52(3). С. 615–621. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.615rus
4. Куземкин И. А., Рожмина Т. А. Скрининг образцов коллекции льна-долгунца по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23(5). С. 666–674. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674
5. Кутузова С. Н., Пороховинова Е. А., Брач Н. Б., Павлов А. Н. Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181(2). С. 57–64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64
6. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / под общ. ред. В. З. Богдана. Устье: РНДУП «Ин-т льна», 2011. 12 с.
7. Попова Г. А., Рогальская Н. Б., Трофимова В. М. Мировые генетические ресурсы льна коллекции ВИР в создании сортов Томской селекции // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 4. С. 34–47. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-4-4

8. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(2). С. 141–150. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151
9. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А. Изучение коллекционных образцов коллекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 11. С. 40–42. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11110
10. Ущачовский И. В., Лемеш В. А., Богданова М. В., Гузенко Е. В. Особенности селекции и перспективы применения молекулярно-генетических методов в генетико-селекционных исследованиях льна (*Linum usitatissimum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 602–616.
11. Dhirhi N., Mehta N. Estimation of genetic variability and correlation in F_2 segregating generation in linseed (*Linum usitatissimum* L.) // Plant Archives. 2019. Vol. 19, №. 1. P. 475–484.
12. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6, P. 36–40.
13. Langyan S., Yadava Khan F. N., Sharma S., Singh R., Bana R. S., Kumar A. Trends and advances in pre- and post-harvest processing of flaxseed oil for quality food and health products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2023. P. 1–24. DOI: 10.1080/10408398.2023.2280768
14. Mohammadi R., Amri A. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments // Euphytica. 2008. Vol. 159, P. 419–432. DOI: 10.1007/s10681-007-9600-6
15. Rao M., Lakshmikantha R. G., Kulkarni R. S., Lalitha Reddy S. S., Ramesh S. Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model // Helia. 2004. Vol. 27, P. 59–66. DOI: 10.2298/HEL0441059R

References

1. Rozhmina T. A., Ryzhov A. I., Kuzemkin I. A., Kiseleva T. S. Vnutrividovoe raznoobrazie l'na kul'turnogo (*Linum usitatissimum* L.) i ego rol' v reshenii problemy sozdaniya otechestvennoi syr'evoi bazy [Intraspecific diversity of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L.) and its role in solving the problem of developing a domestic raw material base] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017. T. 31, № 12. S. 17–20.
2. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with basics of statistical processing of the study results)]. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
3. Korolev K. P., Bome N. A. Otsenka genotipov l'na-dolguntsa (*Linum usitatissimum* L.) po ekologicheskoi adaptivnosti i stabil'nosti v usloviyakh severo-vostochnoi chasti Belarusi [Estimation of flax genotypes (*Linum usitatissimum* L.) for environmental adaptability and stability in the conditions of the north-eastern part of Belarus] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2017. № 52(3). S. 615–621. DOI: 10.15389/agrobiologiya.2017.3.615rus
4. Kuzemkin I. A., Rozhmina T. A. Skrinig obraztsov kollektzii l'na-dolguntsa po urozhainosti i parametram adaptivnosti v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona [Screening of flax collection samples for productivity and adaptability parameters in the North-West region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. № 23(5). S. 666–674. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674
5. Kutuzova S. N., Porokhovina E. A., Brach N. B., Pavlov A. N. Mirovoi genofond l'na-dolguntsa VIR i selektsiya ustoychivyykh k rzhavchine sortov [World gene pool of flax of VIR and breeding of rust-resistant varieties] // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2020. № 181(2). C. 57–64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64
6. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollektzii l'na (*Linum usitatissimum* L.) [Methodical recommendations for studying the flax collection (*Linum usitatissimum* L.)] / pod obshch red. V. Z. Bogdana. Ust'e: RNDUP «In-t l'na», 2011. 12 s.
7. Popova G. A., Rogal'skaya N. B., Trofimova V. M. Mirovye geneticheskie resursy l'na kollektzii VIR v sozdanii sortov Tomskoi selektsii [World genetic resources of flax of the VIR collection in developing varieties of Tomsk breeding] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. T. 53, № 4. S. 34–47. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-4-4
8. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Skrinig sortoobraztsov l'na-dolguntsa kollektzii VIR po urozhainosti l'novolokna i parametram adaptivnosti v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona [Screening of flax variety samples of the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the North-West region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. № 21(2). S. 141–150. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151
9. Traburova E. A., Rozhmina T. A. Izuchenie kollektсионnykh obraztsov kollektzii l'na-dolguntsa (*Linum usitatissimum* L.) [Study of flax collection samples (*Linum usitatissimum* L.)] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 11. S. 40–42. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11110
10. Ushchapovskii I. V., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., Guzenko E. V. Osobennosti selektsii i perspektivy primeneniya molekulyarno-geneticheskikh metodov v genetiko-selektsionnykh issledovaniyakh l'na (*Linum usitatissimum* L.) [Features of breeding and prospects of application of molecular genetic methods in genetic and breeding studies of flax (*Linum usitatissimum* L.)] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2016. T. 51, № 5. S. 602–616.
11. Dhirhi N., Mehta N. Estimation of genetic variability and correlation in F_2 segregating generation in linseed (*Linum usitatissimum* L.) // Plant Archives. 2019. Vol. 19, №. 1. P. 475–484.
12. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6, P. 36–40.

13. Langan S., Yadava Khan F. N., Sharma S., Singh R., Bana R. S., Kumar A. Trends and advances in pre- and post-harvest processing of flaxseed oil for quality food and health products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. P. 1–24. DOI: 10.1080/10408398.2023.2280768

14. Mohammadi R., Amri A. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments // *Euphytica*. 2008. Vol. 159, P. 419–432. DOI: 10.1007/s10681-007-9600-6

15. Rao M., Lakshmikantha RG., Kulkarni RS., Lalitha Reddy SS., Ramesh S. Stability analysis of sunflower hybrids through non-parametric model // *Helia*. 2004. Vol. 27, P. 59–66. DOI: 10.2298/HEL0441059R

Поступила: 31.10.24; доработана после рецензирования: 16.12.24; принята к публикации: 19.12.24.

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. Королёв К. П. – сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Одинцева Д. В. – сбор и анализ данных; Якубенко А. Н. – сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВЫЙ ДЕТЕРМИНАНТНЫЙ СОРТ ГОРОХА ПОСЕВНОГО МЕТЕОР

Л. И. Лихачева, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-9161-1496;

А. В. Москалев, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур, almos10@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5559-2635;

Н. В. Лихачёва, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур, nata.lihachiova2012@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5681-2487;

Н. Н. Матолинец, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства зернобобовых культур, кандидат сельскохозяйственных наук, matolinets-nikolay@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-1074-8792

Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН,

620061, Свердловская область, г. Екатеринбург, пос. Исток, ул. Главная, д. 21

В 2009 году в Красноуфимском селекционном центре Уральского НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН началась селекционная работа с целью создать высокоурожайный сорт гороха, устойчивого к негативным условиям среды, к болезням и вредителям, обладающего неполегающим стеблестоем и неосыпающимися семенами. В результате работы был создан новый сорт гороха посевного Метеор. Сорт гороха Метеор созревает на 4 дня раньше стандарта Красноуфимский 11, в отдельные годы разница может составлять до 5–6 дней. Длина растений больше стандарта на 7 см, при этом имеет хорошую устойчивость к полеганию (4,6 балла). Сорт Метеор превышает стандарт по количеству бобов на растении (3,6 шт.), по количеству (12,7 шт.) и массе семян с растения (2,3 г). Масса 1000 семян в среднем 212 г. Содержание белка 18–26 %, при этом сорт Метеор выдает на 26 кг больше белка с гектара. Поражение болезнями и повреждение плодородной у сорта Метеор на уровне или ниже стандарта в зависимости от условий года. Новый сорт дает прибавку урожайности до 29 % по сравнению со стандартом, имеет хорошую засухоустойчивость. В среднем за годы испытания данный сорт показал прибавку к стандарту на 0,18 т/га (8 %). Сорт Метеор является высокоурожайным, максимальная урожайность получена в 2022 г. – 4,17 т/га. Включен в 2024 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Волго-Вятскому (4) и Уральскому (9) регионам.

Ключевые слова: сорт, Метеор, горох посевной (*Pisumsativum* L.), урожайность, адаптивность, сортоиспытание.

Для цитирования: Лихачева Л. И., Москалев А. В., Лихачёва Н. В., Матолинец Н. Н. Новый детерминантный сорт гороха посевного Метеор // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-33-39.



THE NEW DETERMINATE PEA VARIETY 'METEOR'

L. I. Likhacheva, senior researcher of the laboratory for the legumes breeding and primary seed production, selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-9161-1496;

A. V. Moskaev, researcher of the laboratory for the legumes breeding and primary seed production, almos10@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5559-2635;

N. V. Likhacheva, researcher of the laboratory for the legumes breeding and primary seed production, nata.lihachiova2012@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5681-2487;

N. N. Matolinets, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for the legumes breeding and primary seed production, matolinets-nikolay@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-1074-8792

FSBSI UrFARC Uro RAS,

620061, Sverdlov region, Ekaterinburg, v. of Istok, Glavnaya Str., 21; e-mail: info@urfanic.ru

In 2009 the Krasnoufimsk Breeding Center of the Ural RIA, a branch of the FSBSI UrFARC Uro RAS, began breeding work to develop a highly productive pea variety that would be resistant to adverse environmental conditions, diseases and pests, have a non-lodging stem and non-shedding seeds. As a result of the work, there has been developed a new pea variety 'Meteor'. The pea variety 'Meteor' ripens 4 days earlier than the standard variety 'Krasnoufimsky 11', in some years the difference can be up to 5–6 days. The plant length is 7 cm longer than that of the standard variety, with good resistance to lodging (4.6 points). The pea variety 'Meteor' exceeds the standard in a number of beans per plant (3.6 pcs.), in a number (12.7 pcs.) and weight of seeds per plant (2.3 g). 1000-seed weight is on average 212 g. Protein percentage is 18–26 %, while the variety 'Meteor' produces 26 kg more protein per hectare. Disease and moth damage of the variety 'Meteor' is the same or below the standard, depending on the conditions of the year. The new variety provides productivity increase of up to 29 % compared to the standard, has good drought resistance. On average, over the years of trials, the variety showed an increase to the standard by 0.18 t/ha (8 %). The variety 'Meteor' is highly productive, the maximum yield with 4.17 t/ha was obtained in 2022. In 2024, the new variety was included in the State List of Breeding Achievements approved for use in the Volga-Vyatka (4) and Ural (9) regions.

Keywords: variety, Meteor, field pea (*Pisum sativum* L.), productivity, adaptability, variety testing.

Введение. Горох является важнейшей на Среднем Урале, площади которой постоянно зернобобовой культурой из выращиваемых увеличиваются. По данным сайта Федеральной

службы государственной статистики в 2024 г. посевные площади гороха посевного составили 2220,8 тыс. га. По сравнению с прошлым годом они увеличились на 16,9 % (на 321,2 тыс. га) (Росстат, 2024).

Горох имеет короткий вегетационный период и устойчивость к весенним заморозкам. Его можно высевать первой культурой в максимально ранние сроки сразу после наступления спелости почвы и убирать до созревания зерновых культур, что позволяет разрядить напряженность в посевной и уборочный сезоны. Горох используют в основных и промежуточных посевах, а также в составе кормосмесей однолетних трав (Зотиков и др., 2014). Являясь источником высокобелкового зерна, применяется в пищевой промышленности, для приготовления зернофуража и травяной муки. Используется в приготовлении сенажа, зеленого корма, силоса (Лысенко, 2022). Горох увеличивает урожайность следующей культуры в севообороте и снижает общее негативное воздействие агросистемы на почву. Поддерживает структуру почвы, стимулирует протекающие в ней биологические процессы, тем самым обеспечивая экономический эффект возделывания всех культур в севообороте (Пакуль и др., 2022; Чибис и Ефименко, 2022).

В настоящее время в производстве гороха все больше преобладают сорта с усатым типом листа, которые имеют преимущество над листочковыми из-за лучшей технологичности выращивания, уменьшения полегания и осыпания семян, приводивших к потерям при уборке (Омельянюк и др., 2021; Филатова, 2020). Существует также проблема неравномерного созревания бобов по высоте растения. Поэтому была проведена работа по созданию сорта гороха усатого морфотипа с детерминантным типом роста, у которого бобы находятся на верхней части растения и созревают одновременно.

В ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН проводится работа с целью создать высокоурожайный сорт гороха, устойчивого к негативным условиям среды в условиях Среднего Урала, к болезням и вредителям, обладающего неполегающим стеблем и неосыпающимися семенами.

Материалы и методы исследований.

Селекционную работу по созданию нового сорта проводили в 2009–2020 гг. на полях Красноуфимского селекционного центра ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Селекционные посевы гороха размещали в десятипольном севообороте отдела селекции. Предшественник – пшеница, почва – серая лесная. Поля севооборота имели следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} (ГОСТ 26483-85) – 5,36, гидролитическая кислотность (ГОСТ 26212-2021) – 3,83 мг-экв./100 г

почвы, содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) – 4,4 %, легкогидролизующего азота (по Корнфилду) – 140,1 мг/кг почвы, обменного калия (ГОСТ 54650-2011) – 131,5 мг/кг почвы, фосфора (ГОСТ 54650-2011) – 162,5 мг/кг почвы.

Закладку и уборку опытов проводили ручным и механизированным способами в зависимости от этапа селекционной работы: сеялки ССФК-7 и СС-11; комбайны «Hege-125» и «Classic» Wintersteiger. Учет урожая осуществляли путем взвешивания зерна со всей делянки. Для снопового анализа брали 25 растений с каждой делянки. Органолептическую оценку проводили согласно ГОСТ 31986-2012. Математическую обработку данных выполняли в программе Excel и надстройке AgStat, дисперсионный анализ – по Б.А. Доспехову (2014). Содержание протеина определяли по Кьельдалю, разваримость – методом А.В. Соснина.

Генетическую гибкость определяли по формуле А.А. Россиле, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко (2005). Гомеостатичность, селекционную ценность – по методу В.В. Хангильдина (Хангильдин и Бирюков, 1986). Анализ на пластичность проводили по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell в изложении В.З. Пакудина и Л. М. Лопатиной (1984).

В период размножения сорта Метеор погодно-климатические условия года менялись от засушливых (2021 г., $I_j = -0,71$) до переувлажненных (2024 г., $I_j = -1,25$) (рис. 1). Также выдались благоприятные для роста и развития гороха посевного 2019, 2020, 2022 и 2023 гг. с урожайностью около 3 т/га и более. Оптимальные условия были при ГТК от 1,0 до 2,0 при температуре воздуха выше среднегодовых показателей и при количестве осадков не менее 24 % от среднегодовых.

Результаты и их обсуждение. Детерминантный горох посевной сорта Метеор – короткостебельный усатый горох (var. cirrosum) с неосыпающимися семенами, отличается высоким уровнем урожайности.

Сорт Метеор выведен методом индивидуального отбора из гибридной комбинации [Казанец х Марафон] (материнская форма) и [Зауральский 1] (отцовская форма). Авторы: Лихачева Л.И., Гималетдинова В.С., Москалев А.В.

Гибридизация была проведена в 2009 г., а в 2016–2020 гг. сорт изучался в питомнике конкурсного испытания. В 2022 г. сорт был передан на Государственное сортоиспытание по регионам: Волго-Вятский (4), Северо-Кавказский (6), Средневолжский (7), Уральский (9), Западно-Сибирский (10). В 2024 г. был включен в реестр допущенных для использования по Волго-Вятскому (4) и Уральскому (9) регионам районирования. Назначение и использование зерна данного сорта – для продовольственных и кормовых целей (рис. 2, 3).

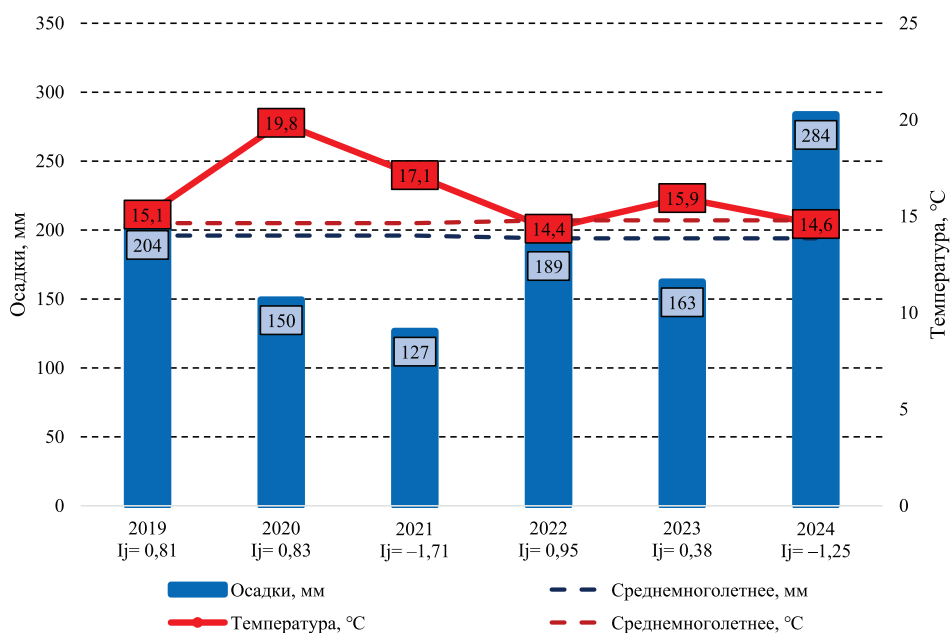


Рис. 1. Погодные условия за годы испытания
Fig. 1. Weather conditions during the years of trials



Рис. 2. Сорт гороха посевного Метеор
Fig. 2. The pea variety 'Meteor'

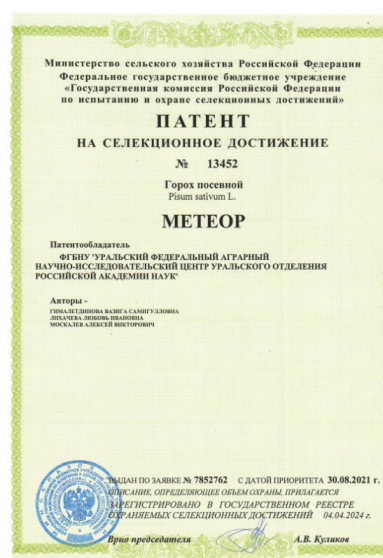


Рис. 3. Патент
Fig. 3. The patent

Данный сорт имеет характерный стебель гороха посевного высотой от 42 до 86 см в зависимости от условий года. Число междоузлий: общее – 13–16 шт., до первого соцветия – от 8 до 11 шт. Сорт Метеор имеет усатый тип листа с полусердцевидными прилистниками. Ближе к верхушке стебля есть 2–3 цветка на одном плодonoсе. На верхнем плодonoсе располагается от двух до четырех цветков. Цветки белые средней крупности, лодочка обыкновенная. Сорт Метеор может иметь до 8 бобов

луцильного типа (в среднем 4–6 шт.) с сильно развитым пергаментным слоем, верхушка боба тупая слабоизогнутая. Семена гороха по размеру средние (7×6 мм), округлые, светло-розовые, гладкие, матовые, с остатком семяножки (рис. 4–6). Масса 1000 семян колеблется в пределах 185–234 г, в среднем 212 г. Содержание белка 18–26 %. Разваримость и вкусовые качества хорошие. Сорт Метеор среднеспелый, отличается ранним и одновременным сроком созревания бобов по ярусам стебля (68–85 суток).



Рис. 4. Растение гороха сорта Метеор
Fig. 4. Plant of the pea variety 'Meteor'



Рис. 5. Бобы гороха сорта Метеор
Fig. 5. Beans of the pea variety 'Meteor'



Рис. 6. Семена гороха сорта Метеор
Fig. 6. Seeds of the pea variety 'Meteor'

Сорт Метеор высокоурожайный, максимальная урожайность получена в питомнике конкурсного испытания Красноуфимского селекционного центра в 2022 г. – 3,88 т/га и на Березовском ГСУ Пермского края – 4,17 т/га.

Сорт гороха Метеор может давать прибавку урожайности до 29 % по сравнению со стандартом (табл. 1). В засушливый 2021 г. (ГТК 0,77)

сорт Метеор лучше перенес засуху и показал урожайность на 26 % больше стандарта. В периоды сильного переувлажнения в 2019 и 2024 гг. (ГТК 2,1 и 2,2 соответственно) новый сорт был урожайнее стандарта на 4–10 %. В благоприятные годы Метеор показывает урожайность на уровне или выше стандарта. В среднем за годы испытания данный сорт показал прибавку к стандарту на 0,18 т/га (8 %).

Таблица 1. Урожайность сорта Метеор за период изучения, т/га (2019–2024 гг.)
Table 1. Productivity of the pea variety 'Meteor' during the study period, t/ha (2019–2024)

Сорт	Урожайность, т/га						
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Среднее
Красноуфимский 11, ст.	3,23	3,31	0,69	3,00	2,99	1,18	2,40
Метеор	3,37	3,33	0,87	3,88	2,75	1,30	2,58
± к стандарту	4 %	1 %	26 %	29 %	-8 %	10 %	8 %
ГТК	2,00	1,00	0,77	1,40	1,20	2,20	–
НСР ₀₅	0,31	0,27	0,21	0,65	0,41	0,24	–

Сорт Метеор в среднем созревает на 4 дня раньше стандарта Красноуфимский 11, в отдельные годы разница может составлять до 5–6 дней (табл. 2). Длина растений больше стандарта на 7 см, при этом имеет хорошую устойчивость к полеганию (4,6 балла) на уровне стандарта. Сорт превышает стандарт по количеству бобов на растении (3,6 шт.), по количеству (12,7 шт.) и массе семян с растения (2,3 г). Масса 1000 семян у нового сорта больше, чем у Красноуфимского 11, на 9 г за счет

большой (на 22 %) фракции семян крупнее 7 мм. По содержанию белка сорт не уступает стандарту (21,7 %), но за счет большей урожайности выдает на 26 кг больше белка с гектара. Поражение болезнями и повреждение плодовой жоркой у сорта Метеор на уровне или ниже стандарта в зависимости от условий года. Зерно по вкусовым качествам выше, чем у стандарта, но разваривается на 15 мин дольше и относится ко второй группе разваримости (91–124 мин).

Таблица 2. Основные показатели элементов продуктивности и качества зерна гороха (среднее за 2019–2023 гг.)
Table 2. Main indicators of productivity elements and grain quality of peas, (mean in 2019–2023)

Показатели	Красноуфимский 11	Метеор	± к стандарту
Вегетационный период, дней (min–max)	80 72–90	76 68–85	-4
Длина стебля, см (min–max)	50,9 33,2–65,8	58,1 42,2–86,3	+7,2
Число бобов на растении, шт. (min–max)	3,4 1,9–5,0	3,6 2,3–4,6	+0,2
Число семян на растении, шт. (min–max)	11,3 3,1–18,1	12,7 5,1–17,6	+1,5
Масса семян с растения, г (min–max)	2,0 0,5–3,5	2,3 0,8–3,5	+0,2
Масса 1000 семян, г (min–max)	193 179–203	212 185–234	+9
Выравненность семян по фракциям, %	5 мм 23	4	-19
	6 мм 68	65	-3
	7 мм 9	31	22
Содержание белка, % (min–max)	22,1 19,1–26,5	21,4 18,4–25,9	-0,6
Урожай белка с гектара, кг/га (min–max)	537 159–856	563 183–873	+26
Устойчивость: к полеганию, балл	4,7	4,6	-0,1
Поражение болезнями: аскохитоз естественный фон, %	12,0	13,0	+1,0
искусственный фон, %	22,6	20,3	-2,3
корневые гнили, %	35,7	39,1	+3,5
Повреждение гороховой плодожоркой, %	5,5	4,1	-1,4
Разваримость, мин	90	105	+15
Вкусовые качества, балл	4,5	4,8	+0,3

Потенциал продуктивности сортов может реализовываться только в конкретных условиях среды, поэтому при создании сортов требуется оценка их адаптивности (Семенова и др., 2022; Кожухова и др., 2021). Для этого проводилась оценка изучаемых сортов по таким параметрам, как генетическая гибкость, гомеостатичность, селекционная ценность и пластичность.

По результатам анализа на адаптивность сорт Метеор показал большую в сравнении со стандартом генетическую гибкость (2,38), наименьшую вариацию урожайности ($V = 43\%$), наилучшую общую адаптивную способность (ОАС) – 0,09, специфическую адаптивную способность (САС) – 1,22 и селекционную ценность (СЦГ) – 1,30 (табл. 3). Новый сорт имеет среднюю отзывчивость на условия среды по пластичности ($bi = 1,03$).

Таблица 3. Параметры адаптивности сортов гороха по урожайности (2019–2023 гг.)
Table 3. Adaptability parameters of pea varieties according to productivity (2019–2023)

Показатели адаптивности	Сорта	
	Красноуфимский 11	Метеор
Урожайность	2,40	2,58
Стрессоустойчивость	-2,62	-3,01
Генетическая гибкость	2,00	2,38
Коэффициент вариации	44 %	43 %
Гомеостатичность	2,1	2,0
Пластичность	0,97	1,03
Стабильность	0,04	0,04
ОАС	-0,09	0,09
САС	1,15	1,22
Sdi	48,01	47,31
СЦГ	1,19	1,30

Исходя из ранжирования показателей адаптивности (табл. 4) сорт Метеор по комплексу показателей превосходит стандарт Красноуфимский 11.

Таблица 4. Ранжирование показателей по адаптивности (2019–2023 гг.)
Table 4. Range of indicators according to adaptability (2019–2023)

Показатели адаптивности	Сорта	
	Красноуфимский 11	Метеор
Общий ранг адаптивности	2	1
Урожайность	2	1
Стрессоустойчивость	1	2
Генетическая гибкость	2	1
Коэффициент вариации	2	1
Гомеостатичность	1	2
Пластичность	2	1
Стабильность	1	1
OAC	2	1
CAC	2	1
Sdi	1	2
СЦГ	2	1

Выводы. Сорт гороха зернового и зернофуражного направления Метеор может использоваться для продовольственных и кормовых целей. Данный сорт обладает высокой урожайностью – на 0,18 т/га выше стандарта (2,58 т/га) – с подтвержденным потенциалом до 4,17 т/га.

Это короткостебельный (58,1 см) безлисточковый горох с неосыпающимися семенами, характеризуется высокой устойчивостью к полеганию. Сорт Метеор отличается детерминантным типом роста растения, при котором бобы формируются фактически все одновременно в верхней части растения в ранние сроки (76 дней), что облегчает механизированную уборку и уменьшает потери зерна. Аскохитозом и корневыми гнилями поражается на уровне или ниже стандарта, повреждение плодородной меньше стандарта.

Включен в 2024 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Волго-Вятскому (4) и Уральскому (9) регионам.

Сорт Метеор получил бронзовую медаль на 26-й Российской агропромышленной выставке «Золотая осень –2024».

Финансирование. Исследования проводились в рамках научно-исследовательской работы «Фундаментальные основы управления селекционным процессом создания новых генотипов растений с высокими хозяйственно ценными признаками продуктивности, устойчивости к био- и абиострессорам (150)» по теме: «Создать новый селекционный материал гороха, сочетающий высокую потенциальную продуктивность, устойчивость к основным болезням и технологичность при уборке» (0772-2014-0011).

Библиографический список

1. Гончаренко, А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 31–37.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 352 с.
3. Зотиков В. И., Бударина Г. А., Голопятков М. Т. Опасные болезни гороха и особенности технологии возделывания культуры в условиях Центрального и Южного федеральных округов // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 3(11). С. 25–31.
4. Кожухова Е. В., Орешникова О. П., Новиков В. В. Анализ элементов продуктивности коллекционных образцов гороха // Земледелие. 2021. № 7. С. 44–48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-44-48
5. Лысенко, А. А. Урожайность и качество возделываемых в Приазовской зоне Ростовской области сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических факторов // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76
6. Омелянюк Л. В., Асанов А. М., Кармазина А. Ю. Доноры признаков структуры стебля в селекции гороха усатого морфотипа для Сибирского региона // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 4(44). С. 25–34. DOI: 10.48136/2222-0364_2021_4_25
7. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113.
8. Пакуль А. Л., Ямщиков М. А., Пакуль В. Н. Эффективность различных систем обработки почвы и прямого посева на черноземе, выщелоченном в условиях Западной Сибири // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 4-1(118). С. 171–175. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.027
9. Семенова Е. В., Бойко А. П., Новикова Л. Ю., Вишнякова М. А. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 7. С. 599–608. DOI: 10.18699/VJGB-22-74
10. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 28.10.2024).
11. Филатова, И. А. Факториальные составляющие продуктивности гороха с усатым и листочковым морфотипом // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 36–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-36-39

12. Хангильдин В. В., Бирюков С. В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях // Генетико-цитологические аспекты в селекции с.-х. растений. 1984. № 1. С. 67–76.

References

1. Goncharenko, A. A. *Ekologicheskaya ustoichivost' sortov zernovykh kul'tur i zadachi seleksii* [Environmental sustainability of grain crop varieties and breeding tasks] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2016. № 3. S. 31–37.
2. Dospekhov, B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of a field trial (with basics of statistical processing of the study results)]. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
3. Zotikov V. I., Budarina G. A., Golopyatov M. T. *Opasnye bolezni gorokha i osobennosti tekhnologii vozdel'yvaniya kul'tury v usloviyakh Tsentral'nogo i Yuzhnogo federal'nykh okrugov* [Dangerous pea diseases and features of its cultivation technology in the central and southern federal districts] // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2014. № 3(11). S. 25–31.
4. Kozhukhova E. V., Oreshnikova O. P., Novikov V. V. *Analiz elementov produktivnosti kollektsionnykh obraztsov gorokha* [Analysis of productivity elements of collection samples of peas] // *Zemledelie*. 2021. № 7. S. 44–48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-44-48
5. Lysenko, A. A. *Urozhainost' i kachestvo vozdel'yvaemykh v Priazovskoi zone Rostovskoi oblasti sortov zernovogo gorokha v zavisimosti ot gidrotermicheskikh faktorov* [Productivity and quality of grain pea varieties cultivated in the Pre-Azov area of the Rostov region depending on hydrothermal factors] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. T. 14, № 2. S. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76
6. Omel'yanyuk L. V., Asanov A. M., Karmazina A. Yu. *Donory priznakov struktury steblya v seleksii gorokha usatogo morfotipa dlya Sibirskogo regiona* [Donors of stem structure traits in breeding peas of a leafless morphotype for the Siberian region] // *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. № 4(44). S. 25–34. DOI: 10.48136/2222-0364_2021_4_25
7. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. *Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sortov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Estimation of ecological adaptability and stability of varieties of agricultural crops] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 1984. № 4. S. 109–113.
8. Pakul' A. L., Yamshchikov M. A., Pakul' V. N. *Effektivnost' razlichnykh sistem obrabotki pochvy i pryamogo poseva na chernozeme vyshchelochennom v usloviyakh Zapadnoi Sibiri* [Efficiency of various tillage systems and direct seeding on leached chernozem in the Western Siberia] // *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2022. № 4-1(118). S. 171–175. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.027
9. Semenova E. V., Boiko A. P., Novikova L. Yu., Vishnyakova M. A. *Fenotipicheskie priznaki, opredelyayushchie differentsiatsiyu genofonda gorokha (Pisumsativum L.) po napravleniyam ispol'zovaniya* [Phenotypic traits that determine the differentiation of the pea gene pool (Pisum sativum L.) by areas of use] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*. 2022. T. 26, № 7. S. 599–608. DOI: 10.18699/VJGB-22-74
10. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki* [Federal State Statistics Service] [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (data obrashcheniya: 28.10.2024).
11. Filatova, I. A. *Faktorial'nye sostavlyayushchie produktivnosti gorokha s usatym i listochkovym morfotipom* [Factorial components of the productivity of peas with leafless and leafy morphotypes] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 4(70). S. 36–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-36-39
12. Khangil'din V. V., Biryukov S. V. *Problema gomeostaza v genetiko-selektsionnykh issledovaniyakh* [The problem of homeostasis in genetic selection research] // *Genetiko-tsitologicheskie aspekty v seleksii s.-kh. rastenii*. 1984. № 1. S. 67–76.

Поступила: 11.12.24; доработана после рецензирования: 18.12.24; принята к публикации: 18.12.24.

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. Матолинец Н. Н. – концептуализация исследований; Лихачева Л. И., Москалев А. В. – анализ данных и их интерпретация; Лихачёва Н. В. – выполнение полевых и лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ ЛУЧШИХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ГОРОХА САМАРСКОГО НИИСХ

О. А. Майстренко, научный сотрудник лаборатории селекции зернобобовых культур, o1976m@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0548-7025
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Самарская область, пгт. Безенчук, ул. Карла Маркса, д. 41;
Тел.: 446254; 8(84676)2-11-40; E-mail: samniish@mail.ru

В статье представлены результаты оценки лучших линий гороха в питомнике конкурсного сортоиспытания. Исследования проводили в 2022–2024 гг. в лаборатории селекции зернобобовых культур Самарского НИИСХ – филиал СамНЦ РАН. Цель исследований – изучить новые линии гороха и выделить из них перспективные по урожайности и качеству зерна. Стандартом был сорт Самариус, районированный по трем регионам (Средневолжский, Уральский, Нижневолжский). Vegetационные периоды 2022–2024 гг. контрастно различались по влагообеспеченности и температурному режиму. Благоприятные погодные условия для роста и развития гороха сложились в 2022 г. (ГТК = 1,19), средние – в 2023 г. (ГТК = 0,55), неблагоприятные – в 2024 г. (ГТК = 0,39). В результате изучения были идентифицированы генотипы, превысившие стандарт по урожайности зерна. Наибольшая урожайность получена у линий Б-3865/16 (3,49 т/га), Б-3866/17 (3,51 т/га) и сорта Средневолжский 2 (3,58 т/га). Линии Б-3729/12, Б-3736/2-1, Б-3865/16 характеризовались хорошими пищевыми качествами, а линия Б-3866/17 соответствует категории ценных по качеству сортов (белок – 24,4 %, разваримость – 123 мин, коэффициент разваримости – 2,3 ед.). По показателям элементов продуктивности (кроме массы 1000 семян) лучшим был сорт Средневолжский 2. Значения признаков семенной продуктивности линий были на уровне стандарта. Линии также характеризовались высокой пригодностью к комбайновой уборке. У сорта Средневолжский 2 пригодность к комбайновой уборке несколько снижалась во влагообеспеченном 2022 году. В результате всесторонней оценки лучшие линии Б-3865/16 и Б-3866/17 будут готовиться для государственного сортоиспытания. Остальные линии будут использованы в селекционном процессе как источники ценных признаков.

Ключевые слова: горох, урожайность, морфотип, линия, сорт, адаптивность, устойчивость к полеганию, продуктивность.

Для цитирования: Майстренко О. А. Урожайность и основные хозяйственно ценные признаки лучших селекционных линий гороха Самарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 40–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-40-46.



PRODUCTIVITY AND MAIN ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF THE BEST BREEDING LINES OF PEAS OF THE SAMARA RIA

O. A. Maistrenko, researcher of the laboratory for leguminous crop breeding, o1976m@yandex.ru; ORCID ID: 0000-0003-0548-7025
Samara Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykov, a branch of the FSBIS Samara Federal Research Center RAS, 446254, Samara region, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru

The current paper has presented the results of estimating the best pea lines in the competitive variety testing. The study was conducted in the laboratory for leguminous crop breeding selection of the Samara RIA, a branch of the SamFRC RAS in 2022–2024. The purpose of the work was to study new pea lines and select promising ones according to productivity and grain quality. The standard variety was the variety 'Samarius', grown for three regions (Middle Volga, Ural, Lower Volga). The vegetation periods of 2022–2024 differed greatly in moisture supply and temperature conditions. There were favorable weather conditions for the growth and development of peas in 2022 (GTC = 1.19), moderate in 2023 (GTC = 0.55), unfavorable in 2024 (GTC = 0.39). As a result, there have been identified the genotypes that exceeded grain productivity of the standard variety. The largest productivity was obtained from the lines 'B-3865/16' (3.49 t/ha), 'B-3866/17' (3.51 t/ha) and the variety 'Srednevolzhsky 2' (3.58 t/ha). The lines 'B-3729/12', 'B-3736/2-1', 'B-3865/16' were characterized by good food qualities, and the line 'B-3866/17' corresponded to the category of valuable qualitative varieties (with 24.4 % of protein, 123 min of cooking, 2.3 of cooking coefficient). According to productivity elements (except for 1000-seed weight), the best variety was 'Srednevolzhsky 2'. The values of seed productivity traits of the lines were at the level of the standard. The lines were also characterized by high suitability for combine harvesting. The suitability for combine harvesting of the variety 'Srednevolzhsky 2' slightly decreased in the moisture-rich 2022. As a result of a comprehensive estimation, the best lines 'B-3865/16' and 'B-3866/17' will be prepared for the State Variety Testing. The remaining lines will be used in the breeding process as the sources of valuable traits.

Keywords: peas, productivity, morphotype, line, variety, adaptability, lodging resistance, productivity.

Введение. Зернобобовые культуры являются важной составной частью структуры посевных площадей во всем зерновом комплексе Российской Федерации (Зотиков и др., 2020). В 2024 г. в России было высеяно 2534500 га зернобобовых культур, из них 1574400 га –

это горох. Горох является основной зернобобовой культурой в РФ. В Средневолжском регионе в этом году горохом было засеяно 208 тыс. га.

По сравнению с другими зернобобовыми, горох менее требователен к почвенно-климатическим условиям, что и обусловило широкий ареал его распространения. Он является одним из лучших предшественников для большинства сельскохозяйственных культур. Внедрение его в севооборот способствует улучшению плодородия почв за счет фиксации атмосферного азота (Вошедский и Кулыгин, 2021; Костерин, 2015). Ценность гороха обусловлена высоким содержанием белка в семенах и зеленой массе, а также хорошей сбалансированностью аминокислотного состава. В питании людей и рационах животных горох служит одним из источников растительного белка (Антипова и др., 2015).

В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на 2024 г., включено 190 сортов, из которых только 50 являются ценными по качеству, что очень мало (26 % от всего ассортимента). В связи с этим в переработку попадают сорта гороха, не пригодные для использования в пищевой промышленности, прежде всего для переработки на крупу, из-за невысокого содержания белка и низкой вкусовой характеристики. Поскольку горох среди зернобобовых в России – главная пищевая культура, селекция на повышение кулинарных достоинств является актуальной (Пахотина и др., 2023; Ашиев и др., 2024).

Также к числу главных недостатков гороха посевного относятся нелимитированный рост стебля, полегаемость, осыпаемость семян, неравномерность созревания. Перечисленные недостатки затрудняют механизированную уборку и, как следствие, приводят к большим потерям урожая. Поэтому сегодня работа селекционеров направлена на повышение продуктивности зерна за счет совершенствования морфотипа растений. Появление новых морфотипов гороха с усатым типом листа, неосыпающимися семенами, укороченным ростом стебля поможет улучшить технологичность возделывания сортов гороха и уменьшить потери зерна при уборке (Шакирзянова и Шагаев, 2023).

Цель исследований – изучить новые линии гороха и выделить из них перспективные по урожайности и качеству зерна.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2022–2024 гг. на опытном поле Самарского НИИСХ. Объектами исследований были 23 линии гороха усатого морфотипа с укороченным стеблем. Стандарт – сорт Самариус, принятый Госкомиссией по сортоиспытанию в трех регионах (Средневолжский, Уральский, Нижневолжский). Предшественник – овес. Предпосевная подготовка почвы включала боронование с культивацией на глубину

8–10 см. Селекционный питомник КСИ высевали сеялкой Zurn D 62. Норма высева семян – 1,2 мл всхожих зерен на гектар. Площадь деланки 12 м², повторность пятикратная, сроки посева – 2–3-я декада апреля.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднесуглинистый малогумусный (3,2 %). Кислотность почвы ближе к нейтральной, pH солевой вытяжки – 6,6. Количество легкогидролизуемого азота (по Тюрину) в слое почвы 100 см составило 62,4 мг/кг подвижных фосфатов (по Чирикову) – 287 мг/кг, объемного калия (по Масловой) – 159 мг/кг. Агротехника культуры – общепринятая для условий Самарской области (Зубов и др., 2016).

Закладку опытов наблюдения и оценки проводили в соответствии с методикой полевого опыта (Доспехов, 2014). Содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846-91, массу 1000 семян – по ГОСТ 10842-89. При оценке адаптивности линий их хозяйственную ценность в отношении урожайности зерна характеризует комплексный показатель, учитывающий одновременно уровень стабильности и урожайности (Неттевич и др., 1985). Таким показателем является Пусс – показатель уровня и стабильности урожайности сорта (Неттевич и др., 1985); Аналогичными показателями являются: СЦГ – селекционная ценность генотипа (Кильчевский, Хотылева, 1985); СОУМ – сумма отклонений урожайностей от максимальной в опыте (Катюк и др., 2015). Статистическую обработку полученных экспериментальных данных выполняли методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

В 2022 г. среднесуточная температура воздуха за период вегетации гороха (вторая декада мая – третья декада июля) составила – 17,2 °С, что на 2,3 °С меньше средней многолетней нормы (19,5 °С). Количество выпавших осадков за вегетацию гороха в этом году составило 156,2 мм, что на 39,0 мм больше средней многолетней (117,2 мм) нормы за аналогичный период. Гидротермический коэффициент (ГТК) в 2022 г. за период вегетации гороха составил 1,19, что характеризует этот год как достаточно влажный и благоприятный для продукционных процессов гороха.

В 2023 г. среднесуточная температура воздуха за вегетационный период гороха (первая декада мая – первая декада июля) была практически на уровне среднемноголетней (18,0 °С) и составила 17,7 °С. Количество выпавших осадков за вегетацию гороха в этом году составило 83,6 мм, что на 13,4 мм меньше средней многолетней нормы за аналогичный период. ГТК за период вегетации составил 0,55, что позволяет этот год отнести к средне засушливому.

В 2024 г. от всходов до полной спелости гороха (первая декада мая – первая декада июля) выпало 48,7 мм осадков, что на 48,3 мм меньше среднемноголетней (97,0 мм). Среднесуточная температура воздуха составила 18,1 °С при сред-

немноголетней 18,0 °С. ГТК в этом году за вегетацию гороха составил 0,39. По влагообеспе-

ченности этот год характеризуется как очень сухой (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические условия вегетации гороха в 2022–2024 гг.
Table 1. Weather conditions for pea vegetation 2022–2024

Гидротермические показатели	Годы			Многолетнее значение
	2022	2023	2024	
Среднесуточная температура, °С	17,2	18,2	18,1	18,0–19,5
Сумма осадков, мм	156,2	75,7	48,7	97,0–117,2
ГТК	1,19	0,60	0,39	–

Результаты и их обсуждение. Наиболее высокая урожайность семян в целом по опыту была в 2022 г. – 4,48 т/га (3,87–4,84 т/га). Минимальная урожайность получена в 2024 г. – 2,06 т/га (1,68–2,40 т/га). В 2023 г. урожайность у линий была 3,46 т/га (3,07–4,11 т/га). У стандарта Самариус урожайность варьировала от 2,05 до 4,01 т/га. Среди 23 изученных линий КСИ по комплексу хозяйственных признаков (урожайность зерна, пищевые качества, пригодность к механизированной уборке), выделились 4 линии и перспективный сорт Средневолжский 2, который с 2022 г. проходит государственное сортоиспытание.

В благоприятном 2022 г. стандарт Самариус (4,01 т/га) по урожайности зерна превзошли следующие линии: Б-3865/16 (4,44 т/га), Б-3729/12 (4,45 т/га), Б-3866/17 (4,61 т/га), Б-3736/2-1 (4,76 т/га). Преимущество по урожайности этих линий над стандартом составило 0,43–0,75 т/га, или 11–19 % соответственно. На уровне со

стандартом был сорт Средневолжский 2 (4,38 т/га). В умеренном 2023 г. лучшими по урожайности зерна по сравнению со стандартом (3,39 т/га) были линии Б-3865/16 (3,76 т/га), Б-3866/17 (3,85 т/га) и сорт Средневолжский 2 (4,11 т/га). На уровне стандарта по рассматриваемому признаку были линии Б-3736/2-1 (3,28 т/га), Б-3729/12 (3,29 т/га). В неблагоприятном 2024 г. превысили по урожайности зерна стандарт Самариус (2,05 т/га) линии Б-3865/16 (2,27 т/га) и сорт Средневолжский 2 (2,26 т/га), а на уровне стандарта формировали урожай зерна линии Б-3729/12 (1,88 т/га), Б-3736/2-1 (2,18 т/га), Б-3866/17 (2,08 т/га). В среднем за три года стандарт превысили линии Б-3865/16 (на 0,34 т/га, или 11 %), Б-3866/17 (на 0,36 т/га, или 11 %) и сорт Средневолжский 2 (на 0,43 т/га, или 14 %). Урожайность зерна линий Б-3729/12 (3,21 т/га) и Б-3736/2-1 (3,41 т/га) была на уровне стандарта (3,15 т/га) (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность зерна лучших линий гороха в КСИ (Самарский НИИСХ, 2022–2024 гг.)
Table 2. Grain productivity of the best pea lines in the CVT (Samara RIA, 2022–2024)

Линия, сорт	Урожайность зерна, т/га					
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	средняя	откл. от стандарта	в % к стандарту
Самариус	4,01	3,39	2,05	3,15	–	–
Б-3729/12	4,45	3,29	1,88	3,21	0,06	102
Б-3736/2-1	4,76	3,28	2,18	3,41	0,26	108
Б-3865/16	4,44	3,76	2,27	3,49	0,34	111
Б-3866/17	4,61	3,85	2,08	3,51	0,36	111
Средневолжский 2	4,38	4,11	2,26	3,58	0,43	114
НСР _{0,5}	0,41	0,33	0,19	0,31	–	–

Оценка линий гороха показала практически сходную градацию значений параметров адаптивности, рассчитанных разными методами. Так, большее значение СЦГ имели линии Б-3865/16 (19,1) и сорт Средневолжский 2 (19,4). Также у них отмечено большее значение адаптивности по показателю Пусс – 122 и 127 соответственно. Большой показатель СОУМ был у сорта Средневолжский 2 (3,9). Средний показатель СЦГ и Пусс имели стандарт Самариус (17,3 и 100) и линия Б-3866/17

(16,7 и 106). Среднее значение СОУМ было у линий Б-3866/17 (6,0), Б-3865/16 (6,7) и Б-3736/2-1 (9,2). Низкие параметры адаптивности СЦГ и ПУСС были у линий Б-3729/12 (13,8 и 81), Б-3736/2-1 (15,7 и 97). Низкий СОУМ был у стандарта Самариус (16,9) и линии Б-3729/12 (15,2). Таким образом, по комплексу параметров адаптивности лучшие значения были у сорта Средневолжский 2 и линий Б-3865/16, Б-3866/17 (табл. 3).

Таблица 3. Показатели адаптивности перспективных линий гороха
Table 3. Adaptability indicators of the promising pea lines

Линия, сорт	Урожайность 2022–2024 гг., т/га	СЦГ	Пусс	СОУМ
Самариус	3,15	17,3	100	16,9
Б-3729/12	3,21	13,8	81	15,2
Б-3736/2-1	3,41	15,7	97	9,2

Продолжение табл. 3

Линия, сорт	Урожайность 2022–2024 гг., т/га	СЦГ	Пусс	СОУМ
Б-3865/16	3,49	19,1	122	6,7
Б-3866/17	3,51	16,7	106	6,0
Средневолжский 2	3,58	19,4	127	3,9

Число плодущих узлов на растении в среднем по годам у стандарта Самариус составило 2,2 шт. Линии по числу плодущих узлов (2,0–2,3 шт.) были на уровне со стандартом. Превзошел стандарт по рассматриваемому признаку сорт Средневолжский 2. Количество плодущих узлов составило 2,9 шт. Количество бобов на растении у линий варьировало от 3,8 до 4,2 шт. Наибольшим количеством бобов на растении характеризовался Средневолжский 2 – 5,7 шт., у стандарта этот признак составил 3,8 шт. Среднее количество семян на растении у стандарта составило 14,3 шт. На уровне стандарта этот показатель был у всех линий (13,4–14,3 шт.). Выше, чем у стандарта Самариус, количество семян на растении (21,4 шт.) было у сорта Средневолжский 2.

Количество семян в бобе – слабо варьирующий и наиболее стабильный признак (Атакова и Казарина, 2023). В среднем по годам семян в бобе с растения у стандарта Самариус было

3,7 шт. Линии и сорт Средневолжский 2 были на уровне со стандартом – 3,3–3,7 шт. семян в бобе.

Одним из определяющих признаков семенной продуктивности является масса семян с одного растения. За годы наблюдений масса семян варьировала от 3,3 до 4,0 г, у стандарта Самариус она составила 3,6 г. По данному признаку в среднем за три года выделился сорт Средневолжский 2 – 4,0 г, а линии сформировали практически одинаковую массу семян со стандартом – 3,3–3,7 г.

Масса 1000 семян характеризует крупность и продукционные возможности в период налива зерна. Средняя масса 1000 семян стандарта Самариус за годы исследований составила 251 г. На уровне со стандартом были линии Б-3729/12 (234 г), Б-3865/16 (229 г), Б-3866/17 (261 г). Самые крупные семена были у линии Б-3736/2-1 – 273 г, а самые мелкие у сорта Средневолжский 2 – 183 г (табл. 4).

Таблица 4. Элементы продуктивности перспективных линий гороха в КСИ (2022–2024 гг.)
Table 4. Productivity elements of the promising pea lines of the CVT (2022–2024)

Линия, сорт	Количество с растения			Семян в бобе, шт.	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г
	плодущих узлов, шт.	бобов, шт.	семян, шт.			
Самариус, st	2,2	3,8	14,3	3,7	3,6	251
Б-3729/12	2,0	3,8	14,1	3,7	3,4	234
Б-3736/2-1	2,1	4,2	13,6	3,3	3,7	273
Б-3865/16	2,3	4,0	14,3	3,5	3,3	229
Б-3866/17	2,1	3,9	13,4	3,3	3,6	261
Средневолжский 2	2,9	5,7	21,4	3,7	4,0	183
среднее и доверительный интервал	2,26±0,34	4,2±0,78	15,1±3,2	3,5±0,21	3,6±0,26	238±33,7

Оценка пищевых и технологических качеств семян гороха проведена в соответствии с рекомендациями ВЦОКС: содержание белка – не ниже 24 %; время варки семян – не дольше 160 мин; коэффициент разваримости семян – не ниже 2,3 (Катюк и др., 2019). В среднем за годы исследований содержание белка у перспективных линий и сорта было на уровне 23,0–24,4 %, у стандарта Самариус – 25,3 %. Максимальное накопление белка в семенах по годам (24,0–24,9 %) отмечено у линии Б-3866/17, что соответствует эталонному значению ценного по качеству сорта. Меньше накапливали белка в семенах линии Б-3736/2-1 (23,9 %), Б-3865/16 (23,7 %), Б-3729/12 (23,0 %) и сорт Средневолжский 2 (23,2 %). Время

варки семян у сортов и линий в среднем за годы исследований составило 109–132 мин, что соответствует эталонному значению ценных по качеству сортов. Меньше времени для полного разваривания семян требовалось сорту Самариус – 109 мин и линии Б-3736/2-1 – 118 мин. Несколько больше времени для полного разваривания семян потребовалось линиям Б-3866/17 (123 мин), Б-3865/16 (126 мин), Б-3729/12 (132 мин) и сорту Средневолжский 2 (120 мин). Высокий коэффициент разваримости в среднем за три года был у линии Б-3866/17 – 2,3 ед., что соответствует уровню эталонного значения ценного по качеству сорта. У остальных линий и сортов коэффициент разваримости семян был на уровне 2,2 ед. (табл. 5).

Таблица 5. Показатели пищевых качеств семян гороха в КСИ (2022–2024 гг.)
Table 5. Nutritional quality indicators of pea seeds in the CVT (2022–2024)

Линия, сорт	Содержание белка, %	Коэффициент разваримости, ед.	Время варки, мин
Самариус	25,3 25,2–25,4	2,2 2,1–2,3	109 102–122

Продолжение табл. 5

Линия, сорт	Содержание белка, %	Коэффициент разваримости, ед.	Время варки, мин
Б-3729/12	<u>23,0</u> 22,5–23,5	<u>2,2</u> 2,1–2,2	<u>132</u> 112–145
Б-3736/2-1	<u>23,9</u> 22,9–24,9	<u>2,2</u> 2,0–2,3	<u>118</u> 99–132
Б-3865/16	<u>23,7</u> 23,0–24,3	<u>2,2</u> 2,1–2,2	<u>126</u> 104–148
Б-3866/17	<u>24,4</u> 24,0–24,9	<u>2,3</u> 2,2–2,4	<u>123</u> 106–132
Средневолжский 2	<u>23,2</u> 22,2–24,5	<u>2,2</u> 2,2	<u>120</u> 91–138

Примечание. В числителе – среднее за годы; в знаменателе – колебание по годам.

О пригодности сорта к прямой комбайновой уборке можно судить по устойчивости растений к полеганию, дружности плодообразования и созревания, устойчивости к осыпанию семян. Выделившиеся линии характеризуются компактным верхушечным формированием бобов за счет укороченных междоузлий в репродуктивной зоне растения.

В 2023 и 2024 гг. полегание у перспективных генотипов не наблюдалось. Уборка прямым комбайнированием в эти годы проходила без осложнений и без больших потерь зерна. Полегание было отмечено во влажном 2022 году. Устойчивость к полеганию варьировала от 48 до 90 %. Две линии показали самую высокую устойчивость к полеганию: Б-3729/15 и Б-3736/2-1 – 67 и 90 % соответственно. Средняя устойчивость к полеганию была отмечена у сортов Средневолжский 2 (56 %) и Самариус (48 %).

Во время обмолота линий комбайном потери зерна были минимальными (1–2 %), осо-

бенно у линии Б3866/17 с признаком неосыпаемости семян, также минимальными потери зерна были у сорта Средневолжский 2 (2 %). Устойчивость к осыпанию у него обеспечивается за счет беспергаментного слоя створок боба, которые при созревании плотно облегают семена и не растрескиваются. Наличие усатого листа, его мощность развития и длина стебля в определенной мере влияют на устойчивость растения к полеганию (Катюк, 2006). Поскольку выделенные линии и сорт относятся к усатому морфотипу, важным в оценке устойчивости к полеганию является длина растения. Длина растения у выделившихся линий варьировала от 67,7 до 77,7 см; у сортов Самариус и Средневолжский 2 она составила 104,0 и 105,7 см соответственно. Из данных таблицы 6 видно, что чем выше длина растения, тем ниже устойчивость к полеганию. Между длиной растения и устойчивостью к полеганию прослеживается высокая отрицательная корреляционная взаимосвязь ($r = -0,925$).

Таблица 6. Длина растения и устойчивость к полеганию линий и сортов в КСИ, (2022 г.)
Table 6. Plant length and lodging resistance of pea lines and varieties in the CVT, 2022

Линия, сорт	Устойчивость к полеганию, %	Длина растений, см
Самариус	48	105,7
Б-3729/12	67	77,5
Б-3736/2-1	90	67,7
Б-3865/16	71	77,7
Б-3866/17	72	75,4
Средневолжский 2	56	104,0

Выводы. В результате трех лет изучения (2022–2024 гг.) в конкурсном сортоиспытании было выделено 4 линии с улучшенными показателями урожайности, качества, технологичности к механизированному возделыванию. По урожайности зерна стандарт Самариус (3,15 т/г) достоверно превысили линии Б-3865/16 (3,49 т/га), Б-3866/17 (3,51 т/га) и сорт Средневолжский 2 (3,58 т/га). Линии Б-3729/12 (3,21 т/га) и Б-3736/2-1 (3,41 т/га) были на уровне со стандартом.

Лучшими по параметрам адаптивности СЦГ, Пусс, СОУМ были сорт Средневолжский 2 (19,4; 127; 3,9 соответственно) и линии Б-3865/16 (19,1; 122; 6,7 соответственно), Б3866/17 (16,7; 106; 6,0 соответственно).

Наибольшая семенная продуктивность растения (4,0 г) отмечена у сорта Средневолжский 2. Линии формировали на растении 3,3 г (Б3865/16) – 3,7 г (Б3736/2-1) семян с растения и были на уровне по этому показателю со стандартом (3,6 г). Сорт Средневолжский 2 также характеризовался наибольшим числом плодущих узлов (2,9 шт.), бобов (5,7 шт.), семян (21,4 шт.) на растении и семян в бобе (3,7 шт.). Значения признаков семенной продуктивности линий были на уровне стандарта.

Выделенные линии характеризовались хорошими пищевыми качествами. Однако категории ценных сортов по качеству соответствует линия Б3866/17 у которой содержание белка 24,4 %, коэффициент разваримости семян

2,3 ед., продолжительность полного разваривания семян 123 мин.

Выделившиеся линии также характеризовались высокой пригодностью к комбайновой уборке. У сорта Средневолжский 2 высокая пригодность к комбайновой уборке несколько снижалась во влагообеспеченном 2022 году.

На основании полученных результатов линии Б-3865/16 и Б-3866/17 рекомендуется готовить к Государственному сортоиспытанию. Остальные линии рекомендуется использовать в селекционном процессе как источники

ценных признаков. Следует отметить, что сорт Средневолжский 2 успешно прошел государственные сортоиспытания и в 2024 г. включен в Реестр селекционных достижений РФ с допуском использования по Средневолжскому, Волго-Вятскому и Центрально-Черноземному регионам.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института. Регистрационный номер темы научного исследования 122032200033-6.

Библиографический список

1. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Кравченко Н. С. Урожайность, качество зерна и сбор белка образцов гороха посевного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 12–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-12-17
2. Атакова Е. А., Казарина А. В. Изучение исходного материала сои в неорошаемых условиях Самарского Заволжья // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 3(47). С. 28–33. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-3-28-33
3. Антипова Л. В., Толпыгина И. Н., Успенская М. Е., Попов В. Г. Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства растительных белков // Гигиена и санитария. 2015. № 94(9). С. 51–54.
4. Вошедский Н. Н., Кулыгин В. А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов гороха в богарных условиях Ростовской области // Достижение науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 8. С. 14–19. DOI: 10.53859/02352451-2021-35-8-14
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4(36). С. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198
7. Зубов А. Е., Катюк А. И., Майстренко О. А. Технология возделывания гороха в Среднем Поволжье: практическое руководство. ФГБНУ «Самарский НИИСХ». Самара, 2016. 42 с.
8. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды // Генетика. 1985. Т. 21, № 9. С. 1481–1497.
9. Катюк А. И., Зубков В. В., Зуев Е. В. Анализ перспективных линий сои по адаптивности и стабильности формирования хозяйственно-полезных признаков в условиях Самарской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4. С. 500–504.
10. Катюк А. И., Шаболкина Е. Н., Васин А. В., Булатова К. А., Анисимкина Н. В. Пищевые достоинства семян фасоли, сои и гороха сортов селекции Самарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. 2019. № 4 С. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13
11. Катюк А. И. Пригодность гороха разных морфотипов к прямой комбайновой уборке // Проблемы интенсификации и экологизации земледелия России: материалы научно-практической конференции, Рассвет, 14–15 июня 2006 года / под общей редакцией В. П. Ермоленко. Рассвет: изд-во Донской Зональной научно-исследовательской институт сельского хозяйства, 2006. С. 382–386.
12. Костерин О. Э. При царе горохе (*Pisum sativum* L.): непростая судьба первого генетического объекта // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. № 19(1). С. 13–26. DOI: 10.18699/VJ 15.002
13. Неттевич Э. Д., Моргун А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качество зерна. // Вестник с.-х. науки. 1985. № 1(340). С. 66–73.
14. Пахотина И. В., Омелянюк Л. В., Игнатьева Е. Ю., Асанов А. М., Солдатова Л. Т. Перспективные сорта гороха для использования в крупяной промышленности в условиях юга Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 28–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-28-34
15. Шакирзянова М. С., Шагаев Н. А. Результаты селекции гороха посевного в Ульяновской НИИСХ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2(46). С. 10–18. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-10-18

References

1. Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V., Kravchenko N. S. Urozhainost', kachestvo zerna i sbor belka obraztsov gorokha posevnogo selektsii FGBNU «ANTs «Donskoi» [Productivity, grain quality and protein yield of pea samples developed by the FSBSI «ARC «Donskoy»] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 3. S. 12–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-12-17
2. Atakova E. A., Kazarina A. V. Izuchenie iskhodnogo materiala soi v neoroshaemykh usloviyakh Samarskogo Zavolzh'ya [Study of soybean initial material under non-irrigated conditions of the Samara Trans-Volga region] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2023. № 3(47). S. 28–33. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-3-28-33
3. Antipova L. V., Tolpygina I. N., Uspenskaya M. E., Popov V. G. Gigienicheskie aspekty i perspektivy otechestvennogo proizvodstva rastitel'nykh belkov [Hygienic aspects and prospects for domestic production of plant proteins] // Gigiena i sanitariya. 2015. № 94(9). S. 51–54.

4. Voshedskii N. N., Kulygin V. A. Vliyaniye elementov tekhnologii vozdel'yvaniya na urozhainost' novykh sortov gorokha v bogarnykh usloviyakh Rostovskoi oblasti [The effect of cultivation technology elements on the productivity of new pea varieties in rainfed conditions of the Rostov region] // Dostizhenie nauki i tekhniki APK. 2021. T. 35, № 8. S. 14–19. DOI: 10.53859/02352451-2021-35-8-14
5. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd. pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
6. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V. Razvitie proizvodstva zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii na osnove ispol'zovaniya selektsionnykh dostizhenii [Development of production of legumes and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 4(36). S. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348Kh-2020-11198
7. Zubov A. E., Katyuk A. I., Maistrenko O. A. Tekhnologiya vozdel'yvaniya gorokha v Srednem Povolzh'e [Pea cultivation technology in the Middle Volga region]: Prakticheskoe rukovodstvo. FGBNU Samarskii NIISKh. Samara, 2016. 42 s.
8. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. Metod otsenki adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differentsiruyushchei sposobnosti sredy [Method of estimating the adaptability and stability of genotypes, the differentiating capacity of the environment] // Genetika. 1985. T. 21, № 9. S. 1481–1497.
9. Katyuk A. I., Zubkov V. V., Zuev E. V. Analiz perspektivnykh linii soi po adaptivnosti stabil'nosti formirovaniya khozyaistvenno-poleznykh priznakov v usloviyakh Samarskoi oblasti [Analysis of promising soybean lines according to adaptability, stability of economically useful traits in the Samara region] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. 2015. T. 17, № 4. S. 500–504.
10. Katyuk A. I., Shabolkina E. N., Vasin A. V., Bulatova K. A., Anisimkina N. V. Pishchevye dostoinstva semyan fasoli, soi i gorokha sortov selektsii Samarskogo NIISKh [Nutritional values of bean, soybean and pea seeds of varieties bred by the Samara RIA] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 4 S. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13
11. Katyuk A. I. Prigodnost' gorokha raznykh morfotipov k pryamoi kombainovoi uborke [Suitability of peas of different morphotypes for direct combine harvesting] // Problemy intensivizatsii i ekologizatsii zemledeliya Rossii: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii, Rassvet, 14–15 iyunya 2006goda / pod obshchei redaktsiei V. P. Ermolenko. Rassvet: izd-vo Donskoi zonal'nyi nauchno-issledovatel'skii institut sel'skogo khozyaistva, 2006. S. 382–386.
12. Kosterin O. E. Pri tsare gorokhe (*Pisum sativum* L.): neprostaya sud'ba pervogo geneticheskogo ob'ekta [Under the king of peas (*Pisum sativum* L.): difficult fortune of the first genetic object] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2015. № 19(1). S. 13–26. DOI: 10.18699/VJ 15.002
13. Nettevich E. D., Morgunov A. I., Maksimenko M. I. Povyshenie effektivnosti otbora yarovoi pshenitsy na stabil'nost' urozhainosti i kachestvo zerna [Improving the efficiency of spring wheat breeding for stable productivity and grain quality] // Vestnik s.- kh. nauki. 1985. № 1(340). S. 66–73.
14. Pakhotina I. V., Omel'yanyuk L. V., Ignat'eva E. Yu., Asanov A. M., Soldatova L. T. Perspektivnye sorta gorokha dlya ispol'zovaniya v krupyanoi promyshlennosti v usloviyakh yuga Zapadnoi Sibiri [Promising pea varieties for use in the cereal industry in the south of Western Siberia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 4. S. 28–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-28-34
15. Shakirzyanova M. S., Shagaev N. A. Rezul'taty selektsii gorokha posevnogo v Ul'yanovskoi NIISKh [Results of pea breeding in the Ulyanovsk RIA] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2023. № 2(46). S. 10–18. DOI: 10.24412/2309-348Kh-2023-2-10-18

Поступила: 05.12.24; доработана после рецензирования: 17.01.25; принята к публикации: 17.01.25.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Майстренко О. А. – выполнение полевых опытов, сбор данных, концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ПОЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА УДВОЕННЫХ ГАПЛОИДОВ НА ОСНОВЕ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ТРАНСЛОКАЦИЕЙ ОТ AEGILOPS SPELTOIDES TAUSCH

Н. В. Петраш, младший научный сотрудник лаборатории генофонда растений,
pnv11@bionet.nsc.ru, ORCID ID: 0000-0002-7499-6803;

Е. А. Орлова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории
генофонда растений, ORCID ID: 0000-0001-5084-375X

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции –
филиал ИЦиГ СО РАН,
630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, С-200, зд. 5, а/я 375

Получение удвоенных гаплоидов (doubled haploid, DH) наряду с маркер-ориентированной селекцией становится неотъемлемой частью современного селекционного процесса. В настоящем исследовании в качестве доноров для получения DH использовали линии F_5 мягкой пшеницы 983, 986 и 987, которые были отобраны ранее из комбинации скрещивания позднеспелой линии Велют (содержит транслокации 5BS.5BL-5SL от *Ae. speltoides* и T1RS.1BL от ржи) с раннеспелым сортом Тулун 15. Целью данной работы было получение удвоенных гаплоидов в культуре пыльников *in vitro* на основе гибридных линий мягкой пшеницы с транслокацией от *Ae. speltoides* L. и оценка их по устойчивости к бурой ржавчине и хозяйственно ценным признакам. Получение DH проводили в культуре пыльников *in vitro*, в опыте не обнаружено влияния транслокации от *Ae. speltoides* на показатели андрогенеза *in vitro*. Установлено значимое превышение по всем изучаемым параметрам у линии 986, что, по-видимому, связано с присутствием у нее ржаной транслокации в гетерозиготном состоянии. Всего в опыте получено 17 DH-линий, по результатам молекулярного анализа ДНК с праймерами Gill-B1 и Chi_5F/5R определено 6 DH-линий с транслокацией 5BS.5BL-5SL и одна линия с T1RS.1BL. В ходе изучения реакции к возбудителю бурой ржавчины DH-линий на разных стадиях развития растений установлено, что ген *LrAsp 5*, переданный в геном мягкой пшеницы с транслокацией 5BS.5BL-5SL, является геном возрастной устойчивости к *Puccinia triticina*. Выявлено, что DH-линии с геном *LrAsp 5* в ювенильной стадии имели тип поражения бурой ржавчиной 2 балла, тогда как на взрослых растениях в поле отмечали устойчивый тип реакции (0–1 балл). Пять DH-линий были отобраны для включения в дальнейший селекционный процесс. В настоящей статье приводятся данные их полевой оценки по элементам структуры урожая в 2020–2021 годах. Обнаружено, что значения изучаемых линий по этим признакам находились в пределах значений родителей. По массе 1000 зерен в сравнении с сортом Тулун 15 выделились DH 16-1 (34,6г) и DH 9-2 (34,9г), по массе зерна с растения – DH 7-2 (2,2 г).

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, удвоенные гаплоиды, чужеродные транслокации, структурный анализ, бурая ржавчина, ген *LrAsp 5*.

Для цитирования: Петраш Н. В., Орлова Е. А. Получение и оценка удвоенных гаплоидов на основе линий яровой мягкой пшеницы с транслокацией от *Aegilops speltoides* Tausch // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 47–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-47-53.



PRODUCTION AND ESTIMATION OF DOUBLED HAPLOIDS IN THE SPRING COMMON WHEAT LINES WITH TRANSLOCATION FROM AEGILOPS SPELTOIDES TAUSCH

N. V. Petrash, junior researcher of the laboratory for plant gene pool,
pnv11@bionet.nsc.ru, ORCID ID 0000-0002-7499-6803;

E. A. Orlova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory
for plant gene pool, ORCID ID: 0000-0001-5084-375X

Siberian Research Institute of Plant Cultivation and Breeding,
the branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of RAS,
630501, Novosibirsk region, Krasnoobsk, C-200 Str., 5/1, p/b 375

The development of doubled haploids (DH) along with marker-assisted breeding is becoming an integral part of the modern breeding process. In the current study, the F_5 common wheat lines '983', '986' and '987', which were previously selected from the hybridization of the late-maturing line 'Velyut' (with translocations 5BS.5BL-5SL from *Ae. speltoides* and T1RS.1BL from rye) with the early-maturing variety 'Tulun 15', were used as donors to obtain DH. The purpose of the current work was to obtain doubled haploids in anther culture *in vitro* based on hybrid lines of common wheat with translocation from *Ae. speltoides* L. and to estimate them for brown rust resistance and economically valuable traits. DH was obtained in anther culture *in vitro*, and there was no effect of translocation from *Ae. speltoides* on androgenesis indices *in vitro* in the trial. There has been established a significant excess of all studied parameters in the line '986', which might be caused by the presence of a rye translocation in a heterozygous state. There were obtained 17 DH lines in the trial. According to the results of molecular DNA analysis with the primers Gill-B1 and Chi_5F/5R, there have been identified 6 DH lines with the translocation 5BS.5BL-5SL and one line with T1RS.1BL. During the study of the reaction of DH lines to the brown rust pathogen at different stages of plant development, there has been found out that the gene *LrAsp 5* transferred to the common wheat genome with the translocation 5BS.5BL-5SL is the age-related resistance gene to *Puccinia triticina*. There has been determined that DH lines

with the gene *LrAsp 5* at the juvenile stage had a 2-point brown rust damage, while on adult plants there was a resistant reaction type (0–1 point). There have been selected five DH lines for introduction into the further breeding process, the current paper has presented the data on their field estimation of yield structure elements in 2020–2021. There has been found that the values of the studied lines for these traits were within the values of the parents. There have been identified DH 16-1 (34.6 g) and DH 9-2 (34.9 g) with the best value of 1000-grain weight in comparison with the variety 'Tulun 15', and DH 7-2 (2.2 g) with the best value of grain weight per plant.

Keywords: spring common wheat, doubled haploids, alien translocations, structural analysis, brown rust, gene *LrAsp 5*.

Введение. Пшеница является одной из наиболее распространенных зерновых культур в мире, которая вносит ключевой вклад в продовольственную безопасность населения Земли. В основную задачу селекционеров входит создание сортов пшеницы с широкой адаптивностью, высокой урожайностью и устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессам. С ужесточением отбора происходит сужение генетического разнообразия культуры, что приводит к появлению высокоурожайных сортов с низким качеством зерна и восприимчивостью к болезням. Использование генофонда близкородственных и отдаленных сородичей для обогащения генома мягкой пшеницы помогает решить эту проблему. Чужеродный генетический материал несет множество агрономически важных признаков и обеспечивает разнообразие существующих сортов (Friebe et al., 1996). Одним из широко используемых в интрогрессивной гибридизации пшеницы является вид *Aegilops speltoides* Tausch. От *Ae. speltoides* в геном пшеницы переданы гены устойчивости к стеблевой ржавчине (*Sr32*, *Sr39* и *Sr47*), мучнистой росе (*Pm12*, *Pm32*, *Pm53* и *Pm57*) и листовой ржавчине (*Lr28*, *Lr35*, *Lr36*, *Lr47*, *Lr51*, *Lr66*, *LrSp2* и *LrAsp5*) (Адонина и др., 2021).

В современном мире скорость выведения новых сортов становится не менее важным аспектом, чем сами направления селекции. Исследователи должны иметь инструменты, которые позволяют им быстро реагировать на новые запросы, будь то гены устойчивости к болезням или признаки адаптивности. Одним из таких инструментов стал метод удвоенных гаплоидов (doubled haploid, DH), который наряду с маркер-ориентированной селекцией стал неотъемлемой частью современного селекционного процесса. Этот метод позволяет достичь полной гомозиготности в одном поколении, что значительно ускоряет процесс выведения новых сортов, сокращая трудозатраты и материальные расходы. DH-линии, полученные в результате андрогенеза *in vitro*, широко используются в различных сферах. Они применяются для создания картирующих популяций, генетической трансформации, изучения рецессивных мутаций и закрепления ценных генов в новом генетическом окружении (Weuyen J., 2021). Было установлено, что отзывчивость к андрогенезу *in vitro* зависит от генетических факторов (Seguí-Simarro et al., 2021). Кроме того, участки чужеродного генетического материала также могут оказывать влияние на регенерацию растений. Например, пшенично-ржаная транслокация 1RS-1BL оказывает положитель-

ное влияние на регенерацию растений в культуре пыльников *in vitro* (Тимонова и др., 2022).

В данной работе были использованы линии мягкой пшеницы, полученные ранее на основе устойчивой к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Erikss) линии Велют. Известно, что устойчивость Велют определяется новым геном *LrAsp5*, который был передан с транслокацией 5BS-5BL-5SL от *Ae. speltoides* L. (Адонина и др., 2012).

Целью данной работы было получение удвоенных гаплоидов в культуре пыльников *in vitro* на основе гибридных линий мягкой пшеницы с транслокацией от *Ae. speltoides* L. и их оценка по хозяйственно ценным признакам.

Материалы и методы исследований. В процессе получения диплоидных линий (DH) в качестве доноров использовали три линии яровой мягкой пшеницы поколения F₅: 983, 986 и 987. Эти линии были получены в результате скрещивания позднеспелой селекционной линии Велют с раннеспелым сортом Тулун 15 (Иркутский НИИСХ). Линия Велют несет чужеродные транслокации от ржи *Secale cereale* L. (T1RS.1BL) и от *Ae. speltoides* (T5BS.5BL-5SL). Исходные гибридные линии различались по устойчивости к бурой ржавчине и продолжительности вегетационного периода. Было установлено, что линии 983 и 987 содержат транслокацию от *Ae. speltoides*, в то время как линия 986 является гетерогенной по двум транслокациям: T5BS.5BL-5SL и T1RS.1BL.

Для получения DH-линий мы использовали методику культивирования пыльников на питательной среде, описанную ранее (Петраш, 2022). Растения – доноры пыльников выращивали в полевых условиях, сбор донорных колосьев проводили, когда большая часть микроспор находилась в средней или поздней одноядерной стадии развития, что соответствует расположению середины колоса на уровне влагалища второго сверху листа. Индукцию андрогенеза *in vitro* осуществляли на среде P4, дополненной 90 г/л сахарозы, 6 г/л агара и 1 мг/л регулятора роста 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д). Для регенерации растений использовали среду Гамборга, B5, с добавлением сахарозы – 30 г/л, растительного агара – 5 г/л, НИК и кинетина – по 0,5 мг/л. Спонтанно полученные DH выращивали до полной зрелости зерна, а гаплоидные растения подвергали искусственному удвоению числа хромосом с помощью колхицина. Перед обработкой колхицином растения выдерживали в холоде при температуре 4–5 °С в течение 1–2 ч, затем вынимали из почвы (сосуда), промывали кор-

ни водой и обрезали примерно на одну треть. После этого растения до узла кущения помещали в 0,2 %-й раствор колхицина с добавлением 2 % DMSO на 4–5 ч в темное место. После обработки растения промывали 3–4 ч в дистиллированной воде с аэрацией и высаживали в сосуды с почвой. Удвоение числа хромосом у гаплоидов определяли по наличию завязавшихся в колосе зерновок. Для характеристики эффективности культуры пыльников учитывали следующие показатели: число продуктивных пыльников, число ЭС, число зеленых регенерантов, число альбиносов и все вышеперечисленные показатели в пересчете на 100 пыльников, а также рассчитывали регенерационную способность, которая отражает способность ЭС формировать проростки.

Оценку признаков структуры урожая ДН-линий и их родителей проводили на опытном участке СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН в 2020 и 2021 годах. Каждый генотип был высеян в двух повторениях на делянках шириной 50 см с расстоянием между рядками 20 см. В течение вегетационного периода проводили учеты даты всходов, колошения, созревания, на основании которых определялась продолжительность периода вегетации. Индивидуальный анализ 20 выборочных растений каждого генотипа включал данные по следующим признакам: высота растений, длина колоса, продуктивная кустистость, число колосков в главном колосе, число зерен главного колоса и всего растения, масса зерна главного колоса и всего растения, масса 1000 зерен.

Оценку устойчивости образцов к бурой ржавчине проводили в полевых условиях на естественном фоне в период максимального развития болезни по шкале Майса и Джексона. Кроме того, была определена ювенильная устойчивость к бурой ржавчине на молодых вегетирующих растениях, выращенных в сосудах с почвой в искусственных условиях вегетационно-климатического шкафа «Биотрон-4» (СибФТИ СФНЦА РАН, Россия). Условия выращивания включали температуру день/ночь 20/18 °С, влажность 80 % и световой период 16/8. Заражение проводили на 8–10-дневных растениях суспензией спор сборной популяции возбудителя бурой ржавчины, повторность

трехкратная. После инокуляции растения накрывали полиэтиленовой пленкой и выдерживали без освещения 16–18 ч. Учет поражения растений бурой ржавчиной проводили в три срока, начиная с седьмых суток после заражения. Стандартом служил восприимчивый к возбудителю *P. tritici* сорт Скала. Оценку в динамике выполняли по шкале Майнса и Джексона. В момент максимального поражения инфекцией определяли тип инфекции по шкале Roelfs et al. и степень поражения в % по шкале Петерсона.

ДНК из молодых листьев выделяли по стандартной методике, описанной J. Plaschke с соавторами. Выделенную ДНК анализировали методом ПЦР с маркерами Gill-B1 (Ren et al., 2022) к транслокации 1RS.1BL и Chi_5F/5R (Shoeva et al., 2016) к T5BS.5BL-5SL.

Погодные условия в 2020 и 2021 гг. имели значительные различия как по уровню влажности, так и по температурному режиму. В целом вегетационные периоды этих двух лет были более теплыми, чем в среднем за многолетний период наблюдений. К началу сентября 2020 г. сумма эффективных температур составила 1847,5 °С, а в 2021 г. – 1511 °С при средней многолетней 1428 °С. Уровень влагообеспеченности вегетационного периода 2020 г. был достаточным (ГТК за май–август составил 1,15), за исключением июня, когда наблюдалась легкая засуха с ГТК, равным 0,5. В 2021 г., напротив, уровень влагообеспеченности был недостаточным (ГТК за май–август – 0,9), а в мае и июле наблюдалась засуха.

Полученные данные обрабатывали средствами программного пакета Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. В ходе культивирования пыльников на индукционной среде все исследуемые линии образовывали преимущественно эмбриоподобные структуры (ЭС) и небольшую часть каллусов. Для регенерации выбирали только ЭС, в дальнейшем из них наблюдали развитие единичных зеленых растений, кластеров зеленых растений (семья) и хлорофилл-дефектные проростки (альбиносы). В таблице 1 представлены результаты культивирования пыльников трех гибридных линий F₅ (Велют×Тулун 15).

Таблица 1. Результаты культивирования пыльников линий яровой мягкой пшеницы F₅ (Велют×Тулун 15)
Table 1. Results of anther cultivation of spring common wheat lines F₅ ('Velyut'×'Tulun 15')

Генотип	Число культивированных пыльников, шт	Продуктивные пыльники		Эмбриоподобные структуры		Зеленые проростки		Альбиносы		Регенерационная способность (G+A)/E*100%
		Общее число, шт.	На 100 пыльников, %	Общее число, шт. (E)	На 100 пыльников, %	Общее число, шт. (G)	На 100 пыльников, %	Общее число, шт. (A)	На 100 пыльников, %	
л. 983	957	22	2,30	19	1,99	4	0,42	4	0,42	42,1*
л. 986	2244	115	5,12*	205	9,14*	42	1,87*	40	1,78*	40
л. 987	1269	15	1,18	25	1,97	8	0,63	2	0,16	40
Всего	4470	152	–	249	–	54	–	46	–	–

Продолжение табл. 1

Генотип	Число культивируемых пыльников, шт	Продуктивные пыльники		Эмбриоподобные структуры		Зеленые проростки		Альбиносы		Регенерационная способность (G+A)/E*100%
		Общее число, шт.	На 100 пыльников, %	Общее число, шт.(E)	На 100 пыльников, %	Общее число, шт (G)	На 100 пыльников, %	Общее число, шт. (A)	На 100 пыльников, %	
Ср. знач. (X)	1490	50,67	2,87	83	4,37	18	0,97	15,33	0,79	40,7
Ст. отклон. (S)	–	–	2,03	–	4,13	–	0,79	–	0,87	1,21

Примечание. л. – линия; (X) – среднее значение; Ст. отклон. (S) – стандартное отклонение; «*» – значение признака превышает пределы X+1S.

В общей сложности было выделено 4470 пыльников, из которых регенерировало 54 зеленых проростка, что составляет среднюю частоту 0,97 %. Наибольшей эффективностью в культуре пыльников отличалась линия 986, из 2244 выделенных пыльников 5,12 % сформировали андрогенные структуры. Всего было получено 205 эмбриоподобных структур (9,14 %), из которых регенерировало 42 зеленых растения (1,87 %) и 40 альбиносов (1,78 %).

Линии 983 и 987, обладающие транслокацией в 5B хромосоме от *Ae. speltoides*, показали схожие результаты по оцениваемым признакам, однако их значения были ниже, чем у линии 986. У линий 983 и 987 формировалось 1,99 и 1,97 ЭС на 100 выделенных пыльников и регенерировало по 0,42 и 0,63 % зеленых проростков соответственно. Регенерационная способность линий 986 и 987 составила 40 %, в то время как линия 983 имела более высокую частоту регенерации ЭС (42,1 %).

Сравнение показателей андрогенеза *in vitro* выявило различия в реакции исследуемых линий. Ранее было установлено, что интрогрессия 5BS.5BL.5SL не оказывает влияния на эффективность андрогенеза в условиях *in vitro* (Тимонова и др., 2022). Превышение значений по всем изучаемым параметрам относительно среднего значения у линии 986 можно объяснить присутствием транслокации 1RS.1BL в гетерозиготной форме, которая положительно влияет

на отзывчивость к андрогенезу. Всего в опыте было создано 17 ДН-линий, включая одну линию, полученную в результате искусственного удвоения числа хромосом с использованием колхицина. Все эти линии были высеяны в поле для изучения их хозяйственно ценных признаков и устойчивости к бурой ржавчине.

Наличие интрогрессий у ДН-линий и их родителей определяли с помощью молекулярных маркеров, подобранных к транслокации от *Ae. speltoides* в 5B хромосоме (Chi_5F/5R) и транслокации от ржи в 1B хромосоме (Gill-B1). Идентифицировано наличие T5BS.5BL.5SL с геном *LrAsp 5* у следующих образцов: ДН 2 и ДН 17 (донор л. 987), ДН 3, ДН 4к, ДН 5 (донор л. 983), ДН 7, ДН 8, ДН 10, ДН 13, ДН 14, ДН 16 (донор л. 986) и материнской линии Велют. Сорт Тулун 15 и линии ДН 15, ДН 12, ДН 9 (донор л. 986) не несут интрогрессии (табл. 2). Транслокация от ржи определена только у ДН 9 (донор л. 986) и линии Велют.

Исследования устойчивости ДН-линий к бурой ржавчине проводили как в полевых, так и в лабораторных условиях. По результатам полевых испытаний на естественном фоне (табл. 2) следующие образцы проявили устойчивость (0–1 балл): ДН 2, ДН 3, ДН 4к, ДН 5, ДН 7, ДН 8, ДН 10, ДН 13, ДН 14, ДН 16, ДН 17 и линия Велют. Восприимчивость (3–4 балла) к *P. triticulturae* была отмечена у следующих образцов: ДН 6, ДН 9, ДН 11, ДН 12, ДН 15, ДН 18 и сорт Тулун 15.

Таблица 2. Результаты оценки ДН-линий и их родителей по устойчивости к бурой ржавчине
Table 2. Results of evaluation of DH lines and their parents for resistance to leaf rust

Образец	Происхождение	Наличие транслокации 5BS.5BL.5SL*	Наличие транслокации T1RS.1BL*	Максимальное поражение бурой ржавчиной		
				Полевая оценка 2020–2021 гг., балл	Искусственное заражение	
					Балл	% и тип реакции
ДН 2	л. 987	+	–	0–1н	2н	30MR
ДН 3	л. 983	+	–	0–1н	2н	30MR
ДН 4к**	л. 983	+	–	0–1н	нд	нд
ДН 5	л. 983	+	–	0–1н	2н	20MR
ДН 6	л. 986	–	–	4	нд	нд
ДН 7	л. 986	+	–	0–1н	2н	20MR
ДН 8	л. 986	+	–	0–1н	2н	20MR
ДН 9	л. 986	–	+	3–4	нд	нд
ДН 10	л. 986	+	–	0–1н	2н	20MR
ДН 11	л. 986	–	–	4	нд	нд
ДН 12	л. 986	–	–	4	3	40MS
ДН 13	л. 986	+	–	0–1н	нд	нд
ДН 14	л. 986	+	–	0–1н	2н	15MR

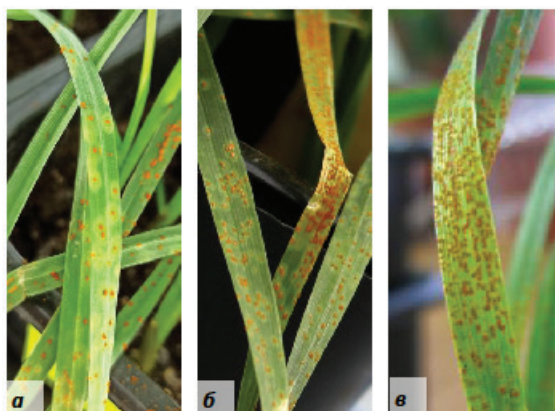
Продолжение табл. 2

Образец	Происхождение	Наличие транслокации 5BS.5BL-5SL*	Наличие транслокации T1RS.1BL*	Максимальное поражение бурой ржавчиной		
				Полевая оценка 2020–2021 гг., балл	Искусственное заражение	
					Балл	% и тип реакции
DH 15	л. 986	—	—	4	нд	нд
DH 16	л. 986	+	—	0–1н	2н	15MR
DH 17	л. 987	+	—	0–1н	нд	нд
DH 18	л. 986	—	—	4	нд	нд
л. Велют	—	+	+	0–1н	нд	нд
Тулун 15	—	—	—	3–4	нд	нд
Скала	—	нд	нд	4	4	60S

Примечание. «*» – подтверждено результатам молекулярного анализа ДНК, знак «+» указывает на наличие транслокации, знак «—» указывает на отсутствие транслокации; «**» – линия получена при искусственном удвоении числа хромосом с использованием колхицина; добавление буквы «н» означает развитие некротической реакции; «нд» – данные не получены.

В лабораторных условиях была проведена оценка реакции к возбудителю бурой ржавчины на молодых вегетирующих растениях. Восемь линий, содержащих транслокацию в 5В, сравнивали по типу реакции с линией DH 12 без транслокации (табл. 2). Данные образцы были выбраны как наиболее интересные по комплексу хозяйственно ценных признаков и устойчивости в полевых условиях. У линий с геном *LrAsp 5* развитие болезни происходило одинаково: сначала возникали некрозы, затем формировались небольшие пустулы (2 балла по шкале Майса и Джексона),

занимающие от 15 до 30 % поверхности листа. Эти линии были отнесены к относительно устойчивым (MR). Линия DH 12, не содержащая транслокацию в 5В, показала более высокий уровень поражения – 40 %. На ее листьях образовывались средние пустулы (3 балла по шкале Майса и Джексона), что соответствует умеренно восприимчивому (MS) типу реакции. Сорт Скала, который относится к восприимчивым (S), был поражен на 60 %. На его листьях формировались средние и крупные сливающиеся пустулы (4 балла по шкале Майнса и Джексона) (см. рисунок).



Развитие бурой ржавчины на молодых вегетирующих растения в лабораторных условиях:
а – DH 2 (несет транслокацию 5BS.5BL-5SL), б – DH 12 (без транслокаций), в – сорт Скала

Leaf rust growth on young vegetative plants in laboratory conditions:
а – DH 2 (with translocation 5BS.5BL-5SL), б – DH 12 (without translocations), в – the variety 'Skala'

Сравнение результатов оценки полевой устойчивости к бурой ржавчине с данными молекулярного анализа полученных DH-линий подтверждает неоднородность донорной линии 986 по интрогрессиям. Из 12 DH-линий, созданных на ее основе, у 6 была обнаружена транслокация в 5В от *Ae. speltoides*, а у одной (л. DH 9) – пшенично-ржаная транслокация в 1В. Линии 987 и 983 несут только транслокацию 5В, как и устойчивые к возбудителю бурой ржавчины DH-линии, полученные на их основе. В ходе изучения действия гена *LrAsp5* на разных стадиях развития растений установлен неодинаковый характер проявления устойчи-

вости к *P. triticina*. В ювенильной стадии наблюдали поражение DH-линий с геном *LrAsp5* (MR, 2 балла), однако в полевых условиях эти линии проявляли устойчивость (R, 0–1 балл). Ранее уже сообщалось о проявлении устойчивости взрослых растений пшеницы с геном *LrAsp5* к возбудителю бурой ржавчины (Адонина и др., 2012). Зависимость степени проявления болезни от стадии развития растений характеризует действие генов возрастной устойчивости (Сколотнева и Салина, 2019). Таким образом, мы предлагаем классифицировать ген *LrAsp5* как возрастной ген устойчивости к бурой ржавчине

После предварительного изучения линий по хозяйственно ценным признакам совместно с селекционерами были отобраны пять лучших образцов. В настоящее время они включены

в селекционный процесс СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН. В таблице 3 представлены результаты оценки пяти отобранных линий по показателям структуры урожая в 2020–2021 годах.

Таблица 3. Анализ структуры урожая линий удвоенных гаплоидов яровой мягкой пшеницы и их родительских сортов (2020–2021 гг.)
Table 3. Analysis of the yield structure of doubled haploids of spring common wheat lines and their parental varieties (2020–2021)

Образец	Средние значения за годы изучения									
	Вегетационный период, дней	Продуктивная кустистость, шт.	Высота растения, см	Длина колоса, см	Число колосков в главном колосе, шт.	Число зерен главного колоса, шт.	Масса зерна главного колоса, г	Число зерен растения, шт.	Масса зерна растения, г	Масса 1000 зерен, г
DH 7-2	86	1,9	75	8,6*	17,9*	45,6	1,6*	63,9	2,2*	33,1
DH 8-3	90	1,8	72,3	8,5*	17,3*	42,5	1,4	63,1	2,0	30,8
DH 16-1	86	1,8	78	8	18*	29,9	1	44,4	1,5	34,6*
DH 9-2	88	1,7	84,9*	8,6*	17,8*	34,3	1,3	52,1	1,9	34,9*
DH 12-6	86	2,4*	76,8	9,8*	19*	41	1,1	78,9*	2,0	26,8
Велют	92	1,8	86,7	10,3	18,7	54,5	1,9	76	2,6	34,5
Тулун 15	83	1,7	71,2	7	15	36,5	1,1	49	1,5	29,7
Среднее	86,9	1,9	77,8	8,7	17,7	40,6	1,3	61,1	2,0	32,1
HCP _{0,05}	3,9	0,3	7,8	1,4	1,7	10,6	0,4	17,4	0,5	4,0
Стандартное отклонение	3,0	0,2	7,6	1,0	1,4	7,5	0,3	12,3	0,4	3,7

Примечание. «*» – достоверное превышение значения в сравнении с сортом Тулун 15.

Продолжительность вегетационного периода изучаемых линий была промежуточной по сравнению с родителями и составила 86–90 дней. Линии DH 7-2, DH 16-1 и DH 12-6 отнесены к среднеспелым, DH 9-2 – к среднепоздней и DH 8-3 – к позднеспелой группе. Также в пределах значений родителей распределялись линии по высоте – от 72,3 см (DH 8-3) до 84,9 см (DH 9-2). Длина колоса и число колосков в колосе исследуемых линий были близки к лучшему родителю (линия Велют) – от 8 до 9,8 см и от 17,3 до 19 колосков соответственно – и достоверно превышали сорт Тулун 15, за исключением длины колоса линии DH 16-1. По продуктивности колоса в сравнении с сортом Тулун 15 выделился образец DH 7-2 (масса зерна 1,6 г), значения остальных линий были в пределах родителей. По массе зерна с растения относительно Тулун 15 выделилась линия DH 7-2 (2,2 г). Крупное зерно на уровне лучшего родителя формировали DH 16-1 и DH 9-2 – 34,6 и 34,9 г соответственно при среднем по опыту 32,1 г.

Выводы. Получение удвоенных гаплоидов с транслокацией 5BS.5BL-5SL проводили на основе линий F₅ 983, 987 и 986, полученных от скрещивания Велют и Тулун 15. Влияния транслокации в 5B хромосому от *Ae. speltioides* на способность к андрогенезу *in vitro* выявлено не было. Высокая отзывчивость в андрогенезе линии 986, по-видимому, связана с ее ге-

терогенностью по интрогрессиям 5BS.5BL-5SL и T1RS.1BL. Всего в культуре пыльников *in vitro* было получено 17 линий удвоенных гаплоидов, у одиннадцати DH-линий определена транслокация 5BS.5BL-5SL с геном *LrAsp 5* и у одной (DH 9) – транслокация 1RS.1BL от ржи. Выявлена зависимость устойчивого типа реакции к *P. triticea* (0–1 балл) взрослых растений DH-линий от наличия T5BS.5BL-5SL. Охарактеризован тип проявления и развития болезни бурой ржавчины на молодых растениях DH-линий с геном *LrAsp 5* и без него. Ген *LrAsp 5*, отвечающий за устойчивость к бурой ржавчине, предлагаем определить как ген возрастной устойчивости. В дальнейший селекционный процесс включены линии DH 7-2, DH 8-3, DH 16-1, DH 9-2 и DH 12-6, проведена их оценка по структуре урожая. Таким образом, применение методов удвоенных гаплоидов и молекулярно-генетического анализа позволило создать исходный селекционный материал, обладающий генетической стабильностью, высокими показателями продуктивности и устойчивостью к бурой ржавчине.

Финансирование. Работа поддержана бюджетными проектами ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018 и № FWNR-2024-0013. Авторы выражают благодарность профессору Е.А. Салиной за предоставленный для исследования растительный материал и рецензентам за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Библиографический список

1. Адонина И. Г., Петраш Н. В., Тимонова Е. М., Христов Ю. А., Салина Е. А. Создание и изучение устойчивых к листовой ржавчине линий мягкой пшеницы с транслокациями от *Aegilops speltioides* Tausch // Генетика. 2012. Т. 48, №4. С. 488–488.
2. Адонина И. Г., Тимонова Е. М., Салина Е. А. Интрогрессивная гибридизация мягкой пшеницы: результаты и перспективы // Генетика. 2021. Т. 57, №4. С. 384–402. DOI: 10.31857/S0016675821030024

3. Петраш Н. В., Орлова Е. А., Лихенко И. Е., Пискарев В. В. Изучение эффективности культуры пыльников *in vitro* сортов и гибридов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-17-22
4. Тимонова Е. М., Адонина И. Г., Салина Е. А. Изучение влияния чужеродных транслокаций на показатели андрогенеза *in vitro* у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 1. С. 127–134. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-127-134
5. Сколотнева Е. С., Салина Е. А. Разнообразие механизмов устойчивости, вовлеченных в многоуровневый иммунитет пшеницы к ржавчинным // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 5. С. 542–550. DOI 10.18699/VJ19.523
6. Friebe B., Jiang J., Raupp W.J., McIntosh R.A., Gill B.S. Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests: current status // Euphytica. 1996. Vol. 91, P. 59–87. DOI 10.1007/BF00035277
7. Ren T., Jiang Q., Sun Z., Ren Z., Tan F., Yang W., Li Z. Development and Characterization of Novel Wheat-Rye 1RS·1BL Translocation Lines with High Resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* // Phytopathology. 2022. Vol. 112, № 6. P. 1310–1315. DOI: 10.1094/PHYTO-07-21-0313-R
8. Seguí-Simarro J. M., Jacquier N. M., Widiez T. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. In: Seguí-Simarro, J.M. (Eds.) Doubled Haploid Technology. Vol. 1. General Topics, Alliaceae, Cereals // Methods in Molecular Biology. New York: Springer Science + Business Media, 2021. Vol. 2287, P. 3–32. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_1
9. Shoeva O. Y., Dobrovolskaya O. B., Leonova I. N., Salina E. A., Khlestkina E. K. The B-, G- and S-genomic Chi genes in family Triticeae // Biologia Plantarum. 2016. Vol. 60, № 2. P. 279–284. DOI: 10.1007/s10535-016-0595-5
10. Weyen J. Applications of doubled haploids in plant breeding and applied research // Doubled haploid technology: volume 1: general topics, alliaceae, cereals. 2021. P. 23–39. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_2

References

1. Adonina I. G., Petrash N. V., Timonova E. M., Khristov Yu. A., Salina E. A. Sozdanie i izuchenie ustoichivyykh k listovoi rzhavchine linii myagkoi pshenitsy s translokatsiyami ot *Aegilops speltoides* Tausch [Development and study of leaf rust resistant lines of common wheat with translocations from *Aegilops speltoides* Tausch] // Genetika. 2012. T. 48, № 4. S. 488–488.
2. Adonina I. G., Timonova E. M., Salina E. A. Introgressivnaya gibrizatsiya myagkoi pshenitsy: rezul'taty i perspektivy [Introgressive hybridization of common wheat: results and prospects] // Genetika. 2021. T. 57, № 4. S. 384–402. DOI: 10.31857/S0016675821030024
3. Петраш Н. В., Орлова Е. А., Лихенко И. Е., Пискарев В. В. Изучение эффективности культуры пыльников *in vitro* сортов и гибридов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) [Study of the efficiency of anther culture *in vitro* of common wheat varieties and hybrids (*Triticum aestivum* L.)] // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-17-22
4. Тимонова Е. М., Адонина И. Г., Салина Е. А. Изучение влияния чужеродных транслокаций на показатели андрогенеза *in vitro* у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) [Study of the effect of foreign translocations on androgenesis indices *in vitro* in common wheat lines (*Triticum aestivum* L.)] // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 1. С. 127–134. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-127-134
5. Сколотнева Е. С., Салина Е. А. Разнообразие механизмов устойчивости, вовлеченных в многоуровневый иммунитет пшеницы к ржавчинным [Diversity of resistance mechanisms involved in multilevel rust immunity of wheat] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 5. С. 542–550. DOI: 10.18699/VJ19.523
6. Friebe B., Jiang J., Raupp W.J., McIntosh R.A., Gill B.S. Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests: current status // Euphytica. 1996. Vol. 91, P. 59–87. DOI: 10.1007/BF00035277
7. Ren T., Jiang Q., Sun Z., Ren Z., Tan F., Yang W., Li Z. Development and Characterization of Novel Wheat-Rye 1RS·1BL Translocation Lines with High Resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* // Phytopathology. 2022. Vol. 112, № 6. P. 1310–1315. DOI: 10.1094/PHYTO-07-21-0313-R
8. Seguí-Simarro J. M., Jacquier N. M., Widiez T. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. In: Seguí-Simarro, J.M. (Eds.) Doubled Haploid Technology. Vol. 1, General Topics, Alliaceae, Cereals // Methods in Molecular Biology. New York: Springer Science + Business Media, 2021. Vol. 2287, P. 3–32. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_1
9. Shoeva O. Y., Dobrovolskaya O. B., Leonova I. N., Salina E. A., Khlestkina E. K. The B-, G- and S-genomic Chi genes in family Triticeae // Biologia Plantarum. 2016. Vol. 60, № 2. P. 279–284. DOI: 10.1007/s10535-016-0595-5
10. Weyen J. Applications of doubled haploids in plant breeding and applied research // Doubled haploid technology: volume 1: general topics, alliaceae, cereals. 2021. P. 23–39. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_2

Поступила: 17.12.24; доработана после рецензирования: 28.01.25; принята к публикации: 28.01.25.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Петраш Н. В. – постановка цели и задач исследования, сбор и анализ литературных данных, проведение лабораторных и полевых исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Орлова Е. А. – проведение лабораторной оценки устойчивости растений к бурой ржавчине, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СЕЛЕКЦИИ РИСА НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ

Е. В. Дубина^{1,2}, доктор биологических наук, профессор РАН, профессор кафедры генетики, селекции и семеноводства, lenakrug1@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-8010-0137;

З. К. Кизи Олимова², магистр 2-го курса агрономического факультета

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный научный центр риса»,

350921, г. Краснодар, пос. Белозёрный, 3;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет» им. И.Т. Трубилина,

350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13

Низкие положительные температуры оказывают отрицательное влияние на все процессы, протекающие во всех стадиях развития растений риса. Особенно это сказывается в период прорастания семян и получения всходов, в результате чего снижается энергия и сила роста семян. Создание генотипов путем введения генов, обеспечивающих способность преодолевать этот эффект, – главная задача селекционеров. Применение в данном направлении специфических маркерных систем, позволяющих четко дифференцировать селекционные образцы на наличие/отсутствие целевых генов, в настоящее время является весьма актуальным. В связи с этим нами поставлена цель исследований – подобрать эффективную маркерную систему и разработать к ней оптимальный протокол (параметры) ПЦР-диагностирования, при котором можно было бы точно детектировать не только наличие целевых генов в анализируемых селекционных образцах, но и их аллельное состояние. Для идентификации количественных локусов (QTLs) в данном исследовании апробировано 3 маркерные системы, из которых высокую эффективность в выявлении полиморфизма между донорами показала одна – RM 1377. С ее использованием продиагностирована ПЦР-анализом сегрегирующая F₂-популяция и проведена в лабораторных условиях оценка по фенотипу. Статистический анализ позволил установить, что данный маркер сонаследуем. На его основе проскринирован экспериментальный предселекционный материал риса лаборатории физиологии ФНЦ риса. Выделены образцы, имеющие донорные аллели целевых генов, которые в дальнейшем будут переданы в селекционный процесс для изучения по комплексу морфометрических характеристик и хозяйственно ценных признаков. Внедрение и использование данных SSR-маркеров в селекционный процесс ускорит создание элитных генотипов риса с повышенной холодостойкостью в период прорастания семян и образования всходов. Посев таких семян можно будет проводить в более ранние сроки. Это даст возможность получать оптимальные по густоте всходы и позволит значительно реализовывать их потенциальную продуктивность.

Ключевые слова: холодостойкость, гены, QTL, ПЦР-анализ, рис, сорт.

Для цитирования: Дубина Е. В., Олимова З. К. Кизи. Применение молекулярно-генетических методов в селекции риса на холодостойкость // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 54–60. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-54-60.



APPLICATION OF MOLECULAR GENETIC METHODS IN RICE BREEDING FOR COLD RESISTANCE

E. V. Dubina^{1,2}, Doctor of Biological Sciences, professor of RAS, professor of the department of genetics, breeding and seed production, lenakrug1@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-8010-0137;

Z. K. Kizi Olimova², 2-nd year Master's student of the faculty of agronomy

¹FSBSI "Federal Research Center of rice"

350921, Krasnodar Krai, Krasnodar, v. of Belozerny, 3

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin",

350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13

Low positive temperatures have a negative impact on all processes occurring at all stages of rice development. This is especially true during the period of seed germination and sprouting, resulting in reduced seed energy and growth strength. The development of genotypes by introducing genes that provide the ability to overcome this effect is a crucial task for breeders. The application of specific marker systems, which allow differentiating breeding samples for the presence/absence of target genes, is currently of great relevance. In this regard, the main purpose of the current study was to select an effective marker system and develop an optimal protocol (parameters) for PCR analysis, which would allow accurately detecting not only the presence of target genes in the analyzed breeding samples, but also their allelic state. In order to identify quantitative loci (QTLs) there were tested three marker systems, among which the only marker system 'RM 1377' showed high efficiency in identifying polymorphism between donors. Using it, a segregating F₂ population was diagnosed by PCR analysis and a phenotype estimation was carried out in laboratory. Statistical analysis allowed establishing that this marker was co-inherited. On its basis, there was screened experimental pre-breeding material of rice from the laboratory of physiology of the FRC of Rice. There have been identified samples with donor alleles of target genes, which will be further introduced into the breeding process to study them according to a set of morphometric characteristics and economically valuable traits. The introduction

and application of these SSR markers in the breeding process will improve the development of basic rice genotypes with better cold resistance during the period of seed germination and sprouting. Sowing of such seeds can be carried out at an earlier time. This will make it possible to obtain sprouts with optimal density and will significantly improve their potential productivity.

Keywords: cold resistance, genes, QTL, PCR analysis, rice, variety.

Введение. Традиционно рис относится к тропическим растениям и в настоящее время он возделывается в 120 странах между 49° с.ш. и 35° ю.ш. В нашей стране посевные площади этой культуры располагаются в самой северной зоне – между 46° с. ш. и 38° в.д., где на прорастание семян и получение всходов оказывают отрицательное влияние положительные низкие температуры.

Эффект от воздействия низких температур на рост и развитие растений риса проявляется на разных стадиях. Положительные низкие температуры снижают энергию роста семян, а также уменьшают фотосинтетическую активность, что приводит к обесцвечиванию листьев. Кроме того, данный эффект может влиять на снижение высоты растения риса, вызывая дегенерацию колосков метелки. Может привести к задержке выметывания, что влечет за собой снижение продуктивности, неравномерное вызревание зерновок и, соответственно, к снижению качества зерна (Скаженник и др., 2019; Костылев и др., 2004; Костылев и др., 2025).

В связи с этим актуальным является создание элитных форм риса, которые обладали бы толерантностью к данному эффекту (низким положительным температурам) в период образования всходов, не снижая при этом полевой всхожести, и имели повышенную силу роста семян. Использование в данном направлении современных методов молекулярной биологии весьма перспективно.

Рядом ученых установлено, что холодоустойчивость является комплексным полигенным признаком и детерминирована одновременным действием нескольких физиолого-биохимических механизмов, которые затрагивают различные метаболические процессы (Костылев и др., 2004; Скаженник и др., 2019; Guo Z. et al., 2022). Проведение поиска эффективных маркерных систем, четко детектирующих донорные аллели на данный признак, остается актуальной проблемой для генетики и селекции риса в этом направлении.

Цель работы – выявить информативную(-ые) ДНК-маркерную(-ые) систему(-ы), сцепленную(-ые) с признаком толерантности к низким положительным температурам в период прорастания семян и образования всходов.

Известно, что генотипы риса подвита *japonica* обладают повышенной толерантностью к низким положительным температурам по сравнению с генотипами подвита *indica*. Данный количественный признак контролируется на стадии проростков двумя генами – *Cts-1*, *Cts-2* (t), а в фазе трубкования – множественными генами. В работе Saito с коллегами представлено еще два количественных локуса на основе QTLs: *Ctb-1*, *Ctb-2*, которые ассоции-

рованы с длиной пыльника (Zang et al. 2025; Saito et al., 2010; Wang et al. 2018).

Li и др. идентифицировали двенадцать QTL ($P < 0,0001$) для оценки толерантности проростков (SR) риса при температуре 4°C (*qSR2-2*, *qSR3-1*, *qSR3-2*, *qSR3-3* и *qSR9*, *qSR2-1*, *qSR3-4*, *qSR3-5*, *qSR3-6*, *qSR3-7*, *qSR4* и *qSR7*). Среди этих QTL только *qSR9*, содержащий наиболее значимый SNP, подтвердил наибольшую фенотипическую вариабельность. С помощью биоинформатического анализа авторами было выявлено пять генов (*LOC_Os09g12440*, *LOC_Os09g12470*, *LOC_Os09g12520*, *LOC_Os09g12580* и *LOC_Os09g12720*), которые рекомендованы как кандидаты для идентификации *qSR9* (Li et al., 2021).

В связи с этим нами проведены поисковые работы эффективной маркерной системы, которая бы точно позволяла проводить дифференциацию толерантных генотипов риса к низким положительным температурам в период всходов на генетическом уровне.

Применение «современных инструментов» молекулярной биологии в селекции риса, а именно эффективных маркерных систем, которые точно дифференцируют исходный материал на устойчивые и неустойчивые формы и позволяют идентифицировать не только целевые гены, но и их аллельное состояние, крайне необходимо и важно на всех этапах селекционного процесса. Данный подход значительно снижает объемы селекционных питомников, позволяет отбирать только желаемые генотипы, имеющие гены-интереса, и значительно облегчает работу селекционерам. Внедрение таких маркерных систем в селекционные программы, направленные на создание генплазмы риса, толерантной к низким положительным температурам в период прорастания семян и получение всходов, значительно ускоряет данный процесс.

Повышение холодоустойчивости у отечественных сортов риса в период прорастания семян и получение всходов позволит начинать посев риса в более ранние сроки, используя для вегетации растений благоприятный по температуре период. Кроме того, это даст возможность получать дружные и оптимальные по густоте стояния всходы, что позволит в большей мере реализовывать потенциальную продуктивность сортов риса.

Материалы и методы исследований. В качестве доноров устойчивости к низким положительным температурам в период прорастания и всходов семян риса использовали сорта Краснодарской селекции – Кубань 3 и Северный. Кроме того, в исследованиях использованы растения гибридов второго поколения, полученные от скрещиваний отечественных сортов Новатор и Серпантин с сортами-донорами

в различных комбинациях. В качестве неустойчивых сортов использовали сорта Новатор, Серпантин и Ленарис.

При проведении молекулярно-генетического анализа геномную ДНК выделяли из листьев экспериментальных образцов риса модифицированным СТАВ-методом (Дубина, 2019).

Для выявления специфичных маркерных систем, ассоциированных с количественными локусами холодостойкости (QTLs: qPSST-3, qPSST-7 и qPSST-9, Sun J. et al., 2018), проводили классический ПЦР-анализ с праймерными парами, амплифицирующими ряд SSR-маркеров: RM 24545; RM 1377; RM 569, взятых из базы данных генетических ресурсов NCBI (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Последовательности праймеров и разработанный протокол режимов амплификации указаны в таблице 1.

Температуру отжига для каждой пары праймеров рассчитывали по формуле

$$T_a = 4^{\circ}\text{C} \times (G + C) + 2^{\circ}\text{C} \times (A + T) - 3,$$

где G, C, A, T – количество пуриновых и пиримидиновых азотистых оснований согласно сиквенсу, который был взят из базы данных NCBI.

Затем проводили апробацию рассчитанной температуры для каждой пары праймеров и по необходимости корректировали ее на $\pm 1^{\circ}\text{C}$ с целью достичь идеальных условий, при которых наблюдался бы высокий выход ампликонов.

Амплифицированные фрагменты фракционировали в 2%-м агарозном геле с добавлением 0,01 % бромистого этидия в 0,5-кратном ТАЕ-буфере при напряжении 120 V (30 мин).

Таблица 1. Состав праймеров, использованных в исследованиях, и протокол проведения ПЦР

Table 1. Composition of primers used in the study and the PCR protocol

Название SSR-маркера	Нуклеотидная последовательность (5' → 3')	Циклы реакции амплификации				
		начальная денатурация, T, °C/время/число циклов	денатурация T, °C/время/число циклов	отжиг праймеров T, °C/время/число циклов	синтез T, °C/время/число циклов	элонгация T, °C/время/число циклов
RM24545	F: 5'-ACAGCACAGCACCCGGAAGG-3'	94°C 5 мин 1 цикл	94°C 35 с	60 °C 45 с	72 °C 30 с	72 °C 5 мин 60 с 1 цикл
	R: 5'-CGAGCAACAGGAAGGCGATAAGC-3'		35 циклов			
RM1377	F: 5'-ATTAGATACATCAGCGGGGG-3'	94°C 5 мин 1 цикл	94°C 35 с	56 °C 60 с	72 °C 30 с	72 °C 5 мин 60 с 1 цикл
	R: 5'-GCTGCTGTACGATGTGATCC-3'		35 циклов			
RM 569	F: 5' GACATTCTCGCTTGCTCCTC-3'	94°C 5 мин 1 цикл	94°C 35 с	60 °C 45 с	72 °C 30 с	72 °C 5 мин 60 с 1 цикл
	R: 5'- TGTCCCCTCTAAAACCTCC-3'		35 циклов			

Определение холодостойкости по фенотипу у анализируемых генотипов проводили по методике ВНИИ риса (Система рисоводства Российской Федерации, 2022). Образцы семян обеззараживали от вредной микрофлоры, заливая их 12 %-м раствором перекиси водорода на 15 мин. Затем их дважды промывали дистиллированной водой и раскладывали в растильни по 25 шт. на двухслойную увлажненную фильтровальную бумагу в двукратной повторности. Сверху семена прикрывали одним слоем увлажненной фильтровальной бумаги. Растильни сверху накрывали стеклом и помещали в термостат, где выставлялась постоянная температура 14 °C. На пятые сутки проводили первый учет проросших семян и их количество фиксировали в журнале наблюдений. Затем учеты проводили ежедневно и данные также заносили в журнал. На тринадцатые сутки под-

счеты заканчивали, объединяя результаты двух повторностей. Отбирали 20 проростков по методу средних проб, измеряли у них длину coleoptilia и рассчитывали его среднюю величину по формуле

$$E = \frac{n_1 s_1 + n_2 s_2 + n_m s_m}{n_1 + n_2 + n_m},$$

где E – средняя скорость прорастания семян (в сутках); n – количество проросших семян за сутки в дни подсчетов, шт.; s – продолжительность прорастания, сутки; m – конечный день подсчетов.

Оценку на холодостойкость устанавливали по двум показателям:

- по скорости прорастания семян;
- по интенсивности роста проростков на 13-е сутки.

Холодостойкость определяли по пятибалльной шкале:

- если экспериментальные образцы превосходили стандарт (Кубань 3) на 10 % – 5 баллов;
- одинаковы со стандартом – 4 балла;
- отставали от стандарта на 20 % – 3 балла;
- отставали от стандарта на 40 % – 2 балла;
- отставали на 60 и более процентов – 1 балл.

Чтобы оценить значимость различий в расщеплении в сегрегирующих популяциях между фактическим числом растений в выборке и теоретически ожидаемым, использовали метод χ^2 (хи-квадрат). Частоту рекомбинации между локусом холодоустойчивости и молекулярными маркерами рассчитывали как отношение

числа растений с наличием или отсутствием ДНК-маркера, несоответствующих фенотипическому проявлению признака устойчивости, к общему числу растений, умноженное на 100 (Нгуен и др., 2018).

Результаты и их обсуждение. Апробация вышеуказанных молекулярных маркеров (табл. 1) показала, что наиболее эффективным является маркерная система RM1377, местоположение которой определено на 3-й хромосоме. С ее использованием получены четкие электрофоретические ДНК-профили каждого анализируемого образца риса и определены их аллельные варианты.

Результаты полученных ДНК-профилей представлены на рисунках 1–3.

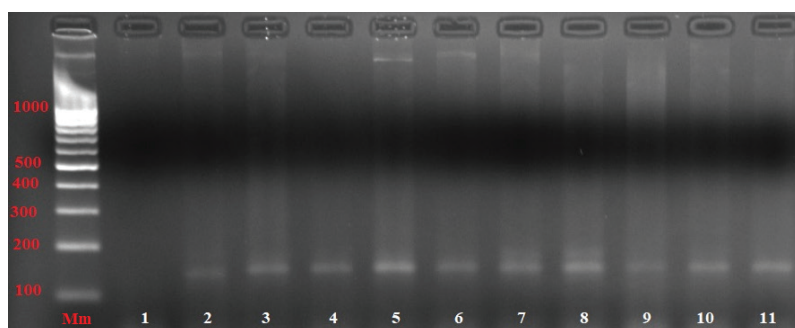


Рис. 1. Детекция продуктов амплификации по SSR-маркеру RM 569.

Примечание. Mm – маркер молекулярной массы 100 bp+1 Kb (производитель – компания Синтол, Россия); 1 – сорт-донор Кубань 3; 2 – сорт-донор Северный; 3 – материнская форма сорт Новатор; 4 – материнская форма сорт Серпантин; 5 – отрицательный контроль сорт Ленарис; 6–11 – гибридные растения F₂ комбинации Новатор/Кубань 3

Fig. 1. Detection of amplification products by SSR-marker RM 569

Note. Mm is a molecular weight marker 100 bp+1 Kb (manufactured by Sintol, Russia); 1 – a donor variety 'Kuban 3'; 2 – a donor variety 'Severny'; 3 – a maternal form, the variety 'Novator'; 4 – a maternal form, the variety 'Serpantin'; 5 – a negative control, the variety 'Lenaris'; 6–11 – hybrid plants of F₂ combination 'Novator/Kuban 3'

Анализируя электрофореграмму рисунка 1, можно видеть, что полиморфизма между экспериментальными образцами в 2%-м агарозном геле выявлено не было. Отсутствует аллельная миграция в ДНК-профилях. Все ам-

пликоны (аллели) находятся на одном уровне. Следовательно, данную маркерную систему нельзя использовать для ранжирования донорных, рецессивных аллелей и гетерозигот.

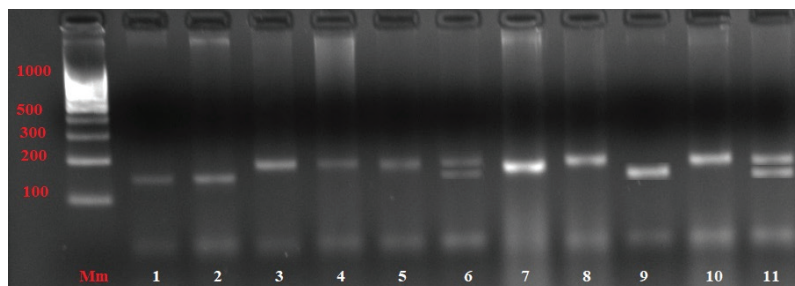


Рис. 2. Детекция продуктов амплификации по SSR-маркеру RM 1377

Примечание. Mm – маркер молекулярной массы 100 bp+1 Kb (производитель – компания Синтол, Россия); 1 – сорт-донор Кубань 3; 2 – сорт-донор Северный; 3 – материнская форма сорт Новатор; 4 – материнская форма сорт Серпантин; 5 – отрицательный контроль сорт Ленарис; 6–11 – гибридные растения F₂ комбинации Новатор/Кубань 3

Fig. 2. Detection of amplification products by SSR-marker RM 1377

Note. Mm is a molecular weight marker 100 bp+1 Kb (manufactured by Sintol, Russia); 1 – a donor variety 'Kuban 3'; 2 – a donor variety 'Severny'; 3 – a maternal form, the variety 'Novator'; 4 – a maternal form, the variety 'Serpantin'; 5 – a negative control, the variety 'Lenaris'; 6–11 – hybrid plants of F₂ combination 'Novator/Kuban 3'

Рисунок 2 демонстрирует результаты ПЦР-диагностирования образцов риса, контрастных по толерантности к низким положительным температурам в период прорастания и всходов. Сорта-доноры под №1 и 2 имеют ПЦР-продукт размером 162 п.н., а неустойчивые сорта – ПЦР-продукт размером 196 п.н. Образцы под № 6–11 являются гибридами сегрегирующей F_2 -популяции комбинации

Новатор/Кубань 3. При оптимально подобранных условиях амплификации (табл. 1) в ДНК-профиле F2 четко различаются все виды генотипов: доминантные (№7 и 9) и рецессивные (№ 8 и 10) гомозиготы, а также гетерозиготы (№ 6 и 11). Данный маркер со специфичными праймерными парами был отобран для селекционной работы для идентификации донорных аллелей и гетерозигот по этому признаку.

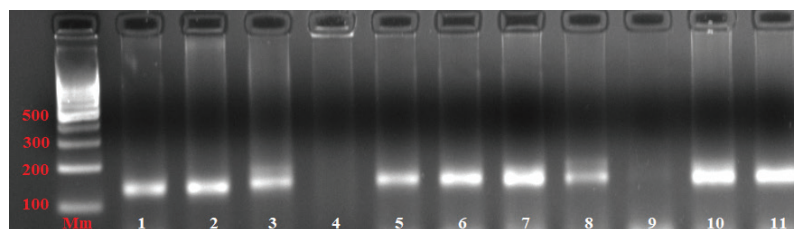


Рис. 3. Детекция продуктов амплификации по SSR-маркеру RM 24545

Примечание. Mm – маркер молекулярной массы 100 bp+1 Kb (производитель – компания Синтол, Россия); 1 – сорт-донор Кубань 3; 2 – сорт-донор Северный; 3 – материнская форма сорт Новатор; 4 – материнская форма сорт Серпантин; 5 – отрицательный контроль сорт Ленарис; 6–11 – гибридные растения F_2 комбинации Новатор/Кубань 3

Fig. 3. Detection of amplification products by SSR-marker RM 24545

Note. Mm is a molecular weight marker 100 bp+1 Kb (manufactured by Sintol, Russia); 1 – a donor variety 'Kuban 3'; 2 – a donor variety 'Severnyy'; 3 – a maternal form, the variety 'Novator'; 4 – a maternal form, the variety 'Serpantin'; 5 – a negative control, the variety 'Lenaris'; 6-11 – hybrid plants of F_2 combination 'Novator/Kuban 3'

На рисунке 3 по SSR-маркеру RM 24545 в 2 %-м агарозном геле ДНК-профиль у всех анализируемых образцов идентичен. Данная маркерная система не использовалась для дальнейшей работы.

Для установления сцепленности маркерной системы RM 1377 с признаком толерант-

ности к низким положительным температурам в период прорастания семян и появления всходов проведена оценка F_2 -популяции комбинации Новатор/Кубань 3 по фенотипу. Затем проведено сравнение результатов ПЦР-анализа с оценкой по фенотипу. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Анализ сцепленности SSR-маркера RM 1377 с признаком холодостойкости в период прорастания семян и получения всходов среди растений сегрегирующей популяции F_2
Table 2. Analysis of cohesion of the SSR-marker RM 1377 with a cold resistance trait during seed germination and sprouting among plants of the segregating F_2 population

Маркер	F ₂ -растения гибридной комбинации Новатор x Кубань 3								Частота рекомбинации, %
	Сегрегация растений		Маркер / толерантность к низким положительным температурам в период прорастания семян и всходов						
	по генотипу	по фенотипу							
	+ : ± : -	χ ²	R:S	χ ²	R/+	S/+	R/-	S/-	
RM 1377	14:31:17	0,35	47:15	0,02	45	0	2	15	3,2

Примечание. R – устойчивость; S – неустойчивость; «+» – присутствует молекулярный маркер, «-» – отсутствует. Для вероятности ошибки $p \leq 0,05$ и d.f. = 2 критическое значение $\chi^2 = 5,99$, а для d.f. = $1\chi^2 = 3,84$.

При анализе данных таблицы 2 видно, что растения F_2 по локусу RM 1377 имеют соотношение по генотипу 14:31:17. Это соответствует менделевскому закону расщепления 1:2:1 и подтверждается статистическим анализом ($\chi^2 = 0,35 < \chi^2(\text{крит.}) = 5,99$). Соотношение по фенотипу 47 (устойчивые): 15 (неустойчивые) также удовлетворяет менделевскому 3:1 и подтверждается статистическим анализом ($\chi^2 = 0,02 < \chi^2(\text{крит.}) = 3,84$). Расчет частоты рекомбинации показал значение 3,2 % (менее 20 %), то есть сила сцепления маркера с признаком составляет 3,2 сМ, что говорит о сце-

пленном наследовании данного маркера с признаком.

Выводы. В результате проведенных исследований из трех апробированных SSR-маркеров на контрастных образцах риса по толерантности к низким положительным температурам в период прорастания и всходов семян отобран один маркер – RM 1377. Установлено, что он выявляет полиморфизм и точно идентифицирует аллельное состояние гена (гомо- и гетерозиготы) по данному признаку. Проведенный статистический анализ расщепления по генотипу и фенотипу на растениях

сегрегирующей F_2 -популяции показал сонатность данного маркера с признаком холодоустойчивости. Только по этому локусу наблюдается ожидаемая сегрегация растений F_2 по генотипу 1:2:1 и по фенотипу 3:1 согласно закону Менделя. Установлено, что наименьшая частота рекомбинации между донорным аллелем и маркером RM 1377 составила 3,2 %, а сила сцепления – 3,2 сМ. Этот маркер рекомендуется использовать в селекционных про-

граммах по созданию генотипов риса к данному эффекту.

Благодарности. Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией физиологии ФНЦ риса М.А. Скаженнику за методическую и консультативную помощь в проведении лабораторного опыта по оценке экспериментальных образцов риса на устойчивость к низким положительным температурам в период прорастания семян и получения всходов.

Библиографический список

1. Дубина Е. В. ДНК-технологии (молекулярное маркирование) в селекции риса и семеноводстве овощных культур: дис. ... д-ра биол. наук. 2019. 275 с.
2. Костылев П. И., Парфенюк А. А., Степовой В. И. Северный рис (генетика, селекция, технология). Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2004. 576 с.
3. Система рисоводства Российской Федерации / под общ. ред. С. В. Гаркуши. Краснодар: ФГБНУ «ФНЦ риса», Просвещение Юг, 2022. 368 с.
4. Скаженник М. А., Дзюба В. А., Ковалев В. С., Гаркуша С. В., Дубина Е. В., Чухирь И. Н., Савенко Е. Г., Макуха Ю. А., Пшеницына Т. С. Создание и улучшение исходного материала риса, устойчивого к низким положительным температурам // Рисоводство. 2019. № 4(45). С. 38–46.
5. Нгуен М. Л., Монахос Г. Ф., Комахин Р. А., Монахос С. Г. Новый локус устойчивости к киле в хромосоме A05 капусты пекинской (*Brassica rapa* L.) // Генетика. 2018. Т. 54, № 3. С. 306–315.
6. Костылев П. И., Дубина Е. В., Гаркуша С. В. Генетика качественных и количественных признаков риса. Зерноград – Краснодар: АНЦ «Донской», ФНЦ риса, 2025. 336 с.
7. Guo Z., Wang H., Yao J., Cheng Y., Zhang W., Xu Z., ... & Zhao M. Quantitative trait loci mapping analysis for cold tolerance under cold stress and brassinosteroid-combined cold treatment at germination and bud burst stages in rice // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13, Article number: 938339. DOI: 10.3389/fpls.2022.938339
8. Li C., Liu J., Bian J., Jin T., Zou B., Liu S., ... & Bian J. Identification of cold tolerance QTLs at the bud burst stage in 211 rice landraces by GWAS // *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21(542), P. 1–11. DOI:10.1186/s12870-021-03317-7
9. Zhang L., Wang F., Liu C., Ma X., Cui D., Han B., Han L. Linkage Mapping and Identification of Candidate Genes for Cold Tolerance in Rice (*Oryza Sativa* L.) at the Bud Bursting Stage // *Rice*. 2025. Vol. 1, P. 1–9. DOI: 10.1186/s12284-024-00754-
10. Saito K., Hayano-Saito Y., Kuroki M., Sato Y. Map-based cloning of the rice cold tolerance gene *Ctb1* // *Plant Science*. 2010. Vol. 179, P. 97–102. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.04.00
11. Wang H., Lee A. R., Park S. Y., Jin S. H., Lee J., Ham T. H., ... & Kwon S. W. Genome-wide association study reveals candidate genes related to low temperature tolerance in rice (*Oryza sativa*) during germination // *Biotech*. Vol. 8(5), P. 235. DOI: 10.1007/s13205-018-1252-9

References

1. Dubina E. B. DNK-tehnologii (molekulyarnoe markirovanie) v selektsii risa i semenovodstve ovoshchnykh kul'tur [DNA technologies (molecular marking) in rice breeding and seed production of vegetable crops]: dis. ... d-ra biol. nauk. 2019. 275 s.
2. Kostylev P. I., Parfenyuk A. A., Stepovoi V. I. Severnyi ris (genetika, selektsiya, tekhnologiya) [Northern rice (genetics, breeding, technology)]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2004. 576 s.
3. Sistema risovodstva Rossiiskoi Federatsii [Rice growing system of the Russian Federation] / pod obshch. red. S. V. Garkushi. Krasnodar: FGBNU «FNTs risa», Prosveshchenie Yug, 2022. 368 s.
4. Skazhennik M. A., Dzyuba V. A., Kovalev V. S., Garkusha S. V., Dubina E. V., Chukhir' I. N., Savenko E. G., Makukha Yu. A., Pshenitsyna T. S. Sozdanie i uluchshenie iskhodnogo materiala risa, ustoychivogo k nizkim polozhitel'nym temperaturam [Development and improvement of the initial material of rice resistant to low positive temperatures] // *Risovodstvo*. 2019. № 4(45). S. 38–46.
5. Nguen M. L., Monakhos G. F., Komakhin R. A., Monakhos S. G. Novyi lokus ustoychivosti k kile v khromosome A05 kapusty pekinskoi (*Brassica rapa* L.) [New clubroot resistance locus in chromosome A05 of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.)] // *Genetika*. 2018. T. 54, № 3. S. 306–315.
6. Kostylev P. I., Dubina E. V., Garkusha S. V. Genetika kachestvennykh i kolichestvennykh priznakov risa [Genetics of qualitative and quantitative traits of rice] // *Zernograd – Krasnodar: ANTs «Donskoi», FNTs risa*, 2025. 336 s.
7. Guo Z., Wang H., Yao J., Cheng Y., Zhang W., Xu Z., ... & Zhao M. Quantitative trait loci mapping analysis for cold tolerance under cold stress and brassinosteroid-combined cold treatment at germination and bud burst stages in rice // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13, Article number: 938339. DOI: 10.3389/fpls.2022.938339
8. Li C., Liu J., Bian J., Jin T., Zou B., Liu S., ... & Bian J. Identification of cold tolerance QTLs at the bud burst stage in 211 rice landraces by GWAS // *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21(542). P. 1–11. DOI:10.1186/s12870-021-03317-7
9. Zhang L., Wang F., Liu C., Ma X., Cui D., Han B., Han L. Linkage Mapping and Identification of Candidate Genes for Cold Tolerance in Rice (*Oryza Sativa* L.) at the Bud Bursting Stage // *Rice*. 2025. Vol. 1, P. 1–9. DOI: 10.1186/s12284-024-00754-
10. Saito K., Hayano-Saito Y., Kuroki M., Sato Y. Map-based cloning of the rice cold tolerance gene *Ctb1* // *Plant Science*. 2010. Vol. 179, P. 97–102. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.04.00

11. Wang H., Lee A. R., Park S. Y., Jin S. H., Lee J., Ham T. H., ... & Kwon S. W. Genome-wide association study reveals candidate genes related to low temperature tolerance in rice (*Oryza sativa*) during germination // *Biotech.* Vol. 8(5), P. 235. DOI: 10.1007/s13205-018-1252-9

Поступила: 07.11.24; доработана после рецензирования: 23.01.25; принята к публикации: 23.01.25.

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. Дубина Е. В. – сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Олимова Зулхуморхон К. Кизи – подготовка и проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.16:581.1.045

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-61-66

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЕРАНТНОСТИ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА РАННЕМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ К ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ

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

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

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

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

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Изменение климата усиливает общее воздействие абиотических стрессовых условий на растения (засуха, засоление, низкие и высокие температуры), ограничивающее рост и продуктивность сельскохозяйственных культур во всем мире. С глобальным изменением климата риск повреждения ярового ячменя холодом увеличился. Для яровых зерновых культур появление всходов – это один из критических периодов вегетации. В статье приведены исследования по определению всхожести образцов ярового ячменя к низким положительным температурам за период 2023–2024 годов. Лабораторную оценку холодоустойчивости проводили по методике, предложенной П.А. Власюк и др., на 47 образцах ярового ячменя конкурсного сортоиспытания селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Цель нашей работы заключалась в испытании метода, определяющего устойчивость образцов ярового ячменя к низким положительным температурам и выделение холодоустойчивых образцов. Проведена оценка холодоустойчивости образцов ячменя по способности семян прорасти в зависимости от воздействия температурного стресса (10, 8, 6, 4 и 2 °C). По результатам статистического анализа была выявлена наилучшая дифференциация значений устойчивости при температуре 4 °C и проведены дальнейшие исследования. Все изучаемые образцы относились к высоко и средне холодоустойчивым. В ходе проведенной последующей оценки образцов урожая 2024 г. были зафиксированы образцы ярового ячменя, характеризующиеся высокой устойчивостью к низкотемпературному воздействию: Зерноградский 1895 (98,9 %), Зерноградский 1875 (96,7 %), Зерноградский 1905 (94,7 %), Зерноградский 1867 (93,5 %), Зерноградский 1898 (92,7 %), Зерноградский 1763, Зерноградский 1892 и Зерноградский 1908 (по 92,6 %).

Ключевые слова: яровой ячмень, сорт, проростки, холодоустойчивость, температурный стресс.

Для цитирования: Газе В. Л., Лобунская И. А., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Донцова А. А. Определение толерантности образцов ярового ячменя на раннем этапе развития растений к холодоустойчивости // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 61–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-61-66.



ESTIMATION OF COLD RESISTANCE OF SPRING BARLEY SAMPLES AT AN EARLY STAGE OF PLANT DEVELOPMENT

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

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

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

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

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Climate changes are increasing the overall impact of abiotic stress conditions on plants (drought, salinity, low and high temperatures), which limit the growth and productivity of agricultural crops worldwide. Global climate changes increase the risk of cold damage to spring barley. For spring grain crops, seedling emergence is one of the critical periods of vegetation. The current paper has presented the study on evaluating seedling of spring barley samples at low positive temperatures in 2023–2024. Laboratory estimation of cold resistance was carried out on 47 spring barley samples from the Competitive Variety Testing developed in the FSBSI "ARC "Donskoy" by the method proposed by P.A. Vlasjuk et al. The purpose of the current work was to test the method determining the resistance of spring barley samples to low positive temperatures and to select cold-resistant samples. The cold resistance of barley samples was estimated by the ability of seeds to germinate depending on the impact of temperature stress (+10, +8, +6, +4 and +2 °C). Based on statistical analysis, the best differentiation of resistance values was identified at a temperature of 4 °C. All the studied samples were classified as highly and moderately cold-resistant. During the subsequent evaluation of the 2024 harvest samples, there have been identified such highly resistant to low-temperature spring barley samples as 'Zernogradsky 1895' (98.9 %), 'Zernogradsky 1875' (96.7 %), 'Zernogradsky 1905' (94.7 %),

'Zernogradsky 1867' (93.5 %), 'Zernogradsky 1898' (92.7 %), 'Zernogradsky 1763', 'Zernogradsky 1892' and 'Zernogradsky 1908' (92.6 % each).

Keywords: *spring barley, variety, sprouts, cold resistance, temperature stress.*

Введение. Холод является одним из наиболее значимых абиотических стрессов, ограничивающих рост и продуктивность сельскохозяйственных культур во всем мире (Зубаирова и др., 2018). Урожайность зерновых культур в условиях южной зоны Ростовской области ограничивается периодами воздействия неблагоприятных метеорологических факторов, в частности, высоких и низких температур по фазам роста и развития растений (Филиппов и др., 2022).

Для весны свойственна резкая смена погоды с временным возвратом холодов. Эти явления продолжаются вплоть до второй половины мая (Юсова и др., 2020).

Одним из факторов, влияющих на урожайность, является полевая всхожесть. Полевая всхожесть у зерновых культур значительно ниже лабораторной и составляет 65–85 %. На полевую всхожесть влияют экологические условия: температура почвы на глубине посева семян, температура воздуха, влажность почвы, наличие почвенных вредителей, почвенной корки (Ma et al., 2024).

Ячмень – одна из яровых культур, обладающая высокой устойчивостью к абиотическим стрессам (высокие и низкие температуры). Посев семян в оптимальные сроки, благоприятная для ярового ячменя температура почвы и воздуха являются залогом получения дружных всходов. Но в этот период не всегда складываются оптимальные погодные условия. Резкое понижение температуры поздней весной во время развития проростков является основным фактором, влияющим на производство ярового ячменя, поскольку оно может привести к гибели, плохому укоренению, снижению полевой всхожести и последующему снижению урожайности до 30–50 % (Колупаев и др., 2019).

Для уменьшения ущерба, наносимого низкими положительными температурами, необходимо создавать холодоустойчивые сорта ярового ячменя.

Многие абиотические факторы среды, к которым растение эволюционно не приспособлено, могут оказывать стрессовое воздействие на организм (Карманенко, 2014). При этом растения испытывают явные нарушения физиологических функций. Холодный стресс приводит к широкому спектру реакций у растений, включая физиобioхимические реакции, которые происходят вместе с колебаниями экспрессии генов. Эти изменения делают растения более устойчивыми к холодным условиям (Muñoz-Amatriain et al., 2020).

Лабораторный метод определения холодоустойчивости образцов ярового ячменя на раннем этапе развития растений даст первичную оценку и позволит объективно characterize-

вать относительную устойчивость и в определенной мере судить и об адаптационных возможностях взрослых растений, что говорит об актуальности проводимых исследований.

Из всего изложенного следует, что выбранное направление является актуальным и перспективным для практической селекции.

Цель наших исследований – испытание метода, определяющего устойчивость образцов ярового ячменя к низким положительным температурам, и выделение холодоустойчивых образцов.

Материалы и методы исследований. Исходным материалом для проведения исследований служили 47 образцов ярового ячменя конкурсного сортоиспытания селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» урожая 2023–2024 годов. Определение устойчивости образцов к действию низких положительных температур проводили по методике, предложенной П.А. Власюк и Е. К. Белецкой (1974). Всхожесть определяли путем проращивания семян в чашках Петри на фильтровальной бумаге в термостате, опыт при температурах: 10, 8, 6, 4 и 2 °C в 4-кратной повторности, а контроль при температуре 20 °C в 2-кратной повторности. Подсчет всхожести семян в опыте проводили на 15-й день, а в контроле – на 7-й день. Критерием устойчивости служит количество проросших семян (с длиной главного корешка и ростка не менее длины семени) после воздействия низких температур в сравнении с контролем.

По устойчивости к низким положительным температурам образцы ярового ячменя распределяли на следующие группы:

I – высокоустойчивые (81–100 %);

II – устойчивость выше средней (61–80 %);

III – среднеустойчивые (41–60 %);

IV – слабоустойчивые (21–40 %);

V – неустойчивые (0–20 %).

Математическую обработку данных производили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Отработку метода отзывчивости по степени прорастания семян при воздействии низких положительных температур и выявления их наилучшей дифференциации проводили на 28 образцах ярового ячменя урожая 2023 года.

Проведен двухфакторный дисперсионный анализ для установления наличия статистически значимых различий в опыте по показателю «прорастание семян» при низких положительных температурах (табл. 1).

В существенной мере температурный режим (фактор B) сказывался на прорастании семян, так как сила влияния составила 97,5 %, а взаимодействие факторов (AB) и сорта (A) – 1,10 и 0,42 % соответственно.

Таблица 1. Результаты статистического анализа по показателю «прорастание семян» при низких положительных температурах (2023 г.)
Table 1. Results of statistical analysis according to the trait 'seed sprouting' at low positive temperatures (2023)

Дисперсия	Степени свободы (v)	Сумма квадратов (SS)	Средний квадрат (S ²)	Критерий F _{факт.}	HCP ₀₅	Доля влияния (Π _х ²) (%)
Общая	279	566771,63	2031,44	—	—	—
Повторений	1	0,03	0,03	—	—	—
Сорт (фактор А)	27	2376,10	88,00	427,76	0,25	0,42
Температурный режим (фактор В)	4	558127,31	139531,83	678228,93	0,10	97,5
Взаимодействия АВ	108	6239,59	57,77	280,82	0,10	1,10
Остаток (ошибка)	139	28,60	0,21	—	—	0,005

Экспериментальные данные по всхожести семян ярового ячменя при низких положительных температурах с интервалом снижения на 2 °С от 10 до 2 °С не показали достоверных различий по устойчивости к температурным

режимам – 10, 8 и 6 °С. Значения холодоустойчивости образцов при этих температурах воздействия варьировали от 89,9 до 100,0 % и составляли I группу – высоко холодоустойчивые (табл. 2).

Таблица 2. Холодоустойчивость ярового ячменя (урожай 2023 г.)
Table 2. Cold resistance of spring barley (2023)

№ п/п	Образец	Холодоустойчивость, %							
		t = 10 °С	Группа устойчивости	t = 8 °С	Группа устойчивости	t = 6 °С	Группа устойчивости	t = 4 °С	Группа устойчивости
1	Формат, st	100,0	I	100,0	I	100,0	I	18,8	V
2	Азимут	100,0	I	98,0	I	96,9	I	40,8	IV
3	Зерноградский 1726	100,0	I	99,0	I	98,0	I	28,3	IV
4	Зерноградский 1755	98,0	I	90,8	I	89,8	I	14,3	V
5	Зерноградский 1801	100,0	I	97,9	I	97,9	I	8,2	V
6	Зерноградский 1866	100,0	I	99,0	I	96,9	I	24,7	IV
7	Зерноградский 1867	100,0	I	98,9	I	97,9	I	6,3	V
8	Зерноградский 1879	100,0	I	99,0	I	91,8	I	2,1	V
9	Зерноградский 1880	100,0	I	100,0	I	98,0	I	9,1	V
10	Зерноградский 1896	98,0	I	96,9	I	95,9	I	9,2	V
11	Зерноградский 1636хГрис	100,0	I	99,0	I	99,0	I	6,3	V
12	Зерноградский 1636 х1645	100,0	I	99,0	I	96,0	I	31,3	IV
13	Зерноградский 1524хГрис	100,0	I	100,0	I	90,9	I	5,1	V
14	Зерноградский 1875	100,0	I	99,0	I	99,0	I	5,2	V
15	Зерноградский 1873	100,0	I	100,0	I	98,0	I	34,7	IV
16	Зерноградский 1825	99,0	I	99,0	I	99,0	I	9,4	V
17	Зерноградский 1855	100,0	I	100,0	I	96,9	I	7,2	V
18	Зерноградский 1863	100,0	I	97,9	I	94,8	I	13,4	V
19	Зерноградский 1861	99,0	I	96,9	I	95,8	I	11,5	V
20	Зерноградский 1883	100,0	I	96,8	I	95,7	I	13,8	V
21	Леон х Юла	100,0	I	100,0	I	97,9	I	37,1	IV
22	Зерноградский 1892	96,9	I	96,9	I	95,9	I	1,0	V
23	Зерноградский 1893	100,0	I	96,9	I	93,9	I	2,0	V
24	Зерноградский 1895	100,0	I	100,0	I	97,0	I	5,1	V
25	Щедрый х Командир	100,0	I	100,0	I	99,0	I	10,4	V
26	Зерноградский 1636 х 1648	100,0	I	100,0	I	99,0	I	2,1	V
27	Зерноградский 1636 х 1648	100,0	I	99,0	I	98,0	I	1,0	V
28	Зерноградский 1636 х Грис	100,0	I	97,9	I	96,9	I	1,0	V
	Среднее	99,7	—	98,5	—	96,6	—	12,8	—
	HCP ₀₅	2,5	—	3,3	—	1,8	—	0,6	—

При температуре 4 °С всхожесть семян имела достоверное различие. Разность значений холодоустойчивости между образцами была более значительная и варьировала

от 40,8 (Азимут) до 1,0 % (Зерноградский 1892, Зерноградский 1636 х Зерноградский 1648 и Зерноградский 1636 х Грис). При распределении на группы устойчивости образцы относи-

лись к слабо устойчивым и нехолодостойким. Так, при температуре 2 °С у большинства образцов зафиксированы низкие или на уровне нуля показатели всхожести.

Наибольший разброс признака прорастания семян среди изученных низких по-

ложительных температур отмечен при 4 °С. Статистический анализ выявил, что при этих условиях изменчивость признака имеет высокие значения амплитуды вариации ($R = 39,80\%$) и стандартного отклонения ($\sigma = 11,77\%$) (табл. 3).

Таблица 3. Статистические показатели изменчивости признака «прорастание семян ярового ячменя» по холодоустойчивости (2023 г.)
Table 3. Statistical indicators of variability of the trait 'spring barley seed sprouting' according to cold resistance (2023)

Статистические показатели		Температура, °С				
		10	8	6	4	2
Среднее по опыту	Среднее значение признака ($\bar{x}$)	99,68	98,49	96,64	12,84	1,64
	Размах вариации (R)	3,10	9,20	10,20	39,80	15,20
	Стандартное отклонение (σ)	0,79	1,89	2,50	11,77	3,37
	Коэффициент вариации	0,8	1,9	2,6	91,7	205,9
	Стандартная ошибка	0,1	0,4	0,5	2,2	0,6

Последующие исследования по относительной холодоустойчивости были проведены при низкой положительной температуре 4 °С на 47 образцах (урожая 2024 года), в результате которого выделены устойчивые формы.

По показателям холодоустойчивости в среднем за период исследований образцы были разделены на группы устойчивости. К высоко холодоустойчивым относятся 46 образцов (97,9 %) и один образец с устойчивостью выше средней (2,1 %) (рис. 1).

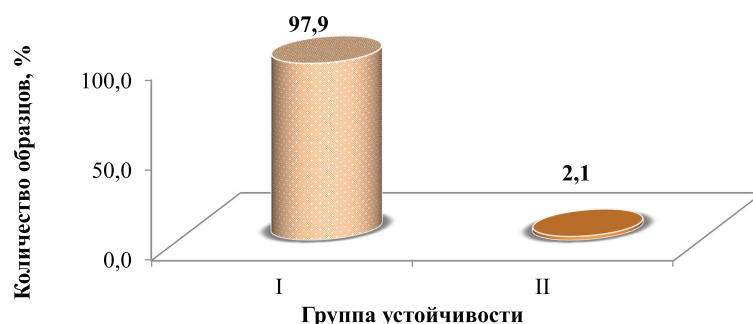


Рис. 1. Распределение образцов ярового ячменя по группам холодоустойчивости (2024 г.)
Fig. 1. Distribution of spring barley samples in cold resistance groups (2024)

По величине холодоустойчивости достоверное превышение значений над стандартом Формат (87,9 %) отмечено у образца Зерноградский 1895 (98,9 %), все остальные изучаемые образцы были на уровне стандарта ($HCP_{05} = \pm 9,4\%$). Максимальные значения холодоустойчивости отмечены у образцов

Зерноградский 1895 (98,9 %), Зерноградский 1875 (96,7 %), Зерноградский 1905 (94,7 %), Зерноградский 1867 (93,5 %), Зерноградский 1898 (92,7 %), Зерноградский 1763, Зерноградский 1892 и Зерноградский 1908 (по 92,6 %) (рис. 2).

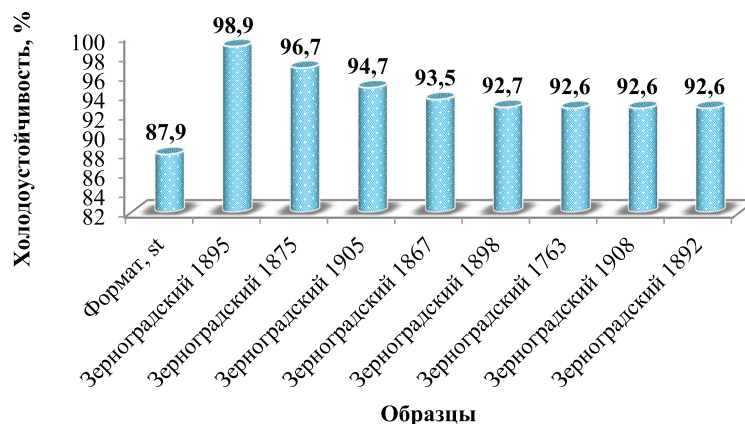


Рис. 2. Выделившиеся образцы ярового ячменя по холодоустойчивости (2024 г.)
Fig. 2. Spring barley samples with high cold resistance (mean in 2023–2024)

Выделенные образцы обладают способностью эффективно справляться с замедлением метаболических процессов и поддержания целостности клеточных мембран, предотвращая образование кристаллов льда при понижении температуры внутри клеток, обусловленные генетическими факторами. Это является одним из главных факторов повреждения растений при низких температурах.

Выводы. Проведенные статистические исследования способности прорастания семян ярового ячменя при низких положительных температурах позволили установить, что наиболее высокие значения амплитуды вариации ($R = 39,80\%$) и стандартного отклонения ($\sigma = 11,77\%$) зафиксированы при темпе-

ратуре 4°C по сравнению с вариантами 10, 8, 6 и 2°C .

Скрининг образцов ярового ячменя по холодоустойчивости позволил выделить образцы Зерноградский 1895 (98,9%), Зерноградский 1875 (96,7%), Зерноградский 1905 (94,7%), Зерноградский 1867 (93,5%), Зерноградский 1898 (92,7%), Зерноградский 1763, Зерноградский 1892 и Зерноградский 1908 (по 92,6%), характеризующиеся высокой устойчивостью к низким положительным температурам.

Финансирование. Государственное задание № 0505-2022-0005 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Зубаирова У. С., Дорошков А. В. Паттерн эпидермиса листа пшеницы как модель для изучения влияния стрессовых условий на морфогенез // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(7). С. 837–844. DOI: 10.18699/VJ18.32-о
2. Карманенко Н. М. Сортная реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49, № 5. С. 66–77.
3. Колупаев Ю. Е., Горелова Е. И., Ястреб Т. О., Рябчун Н. И., Кириченко В. В. Стресс-протекторные реакции проростков пшеницы и ржи при индуцировании устойчивости к низким температурам донором сероводорода // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 4. С. 277–285.
4. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П., Дорошенко Э. С., Засыпкина И. М., Брагин Р. Н. Оценка исходного материала ярового ячменя в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10
5. Юсова О. А., Николаев П. Н., Бендина Я. Б., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 4. С. 44–45.
6. Ma S., Huang X., Zhao X., Liu L., Zhang L., Gan B. Current status for utilization of cold resistance genes and strategies in wheat breeding program // Frontiers in Genetics. 2024. Vol. 15, Article number: 1473717. DOI: 10.3389/fgene.2024.1473717
7. Muñoz-Amatrián M., Hernandez J., Herb D., Baenziger P. S., Bochard A. M., Capettini F., ... & Hayes P. Perspectives on low temperature tolerance and vernalization sensitivity in barley: prospects for facultative growth habit // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11, Article number: 585927.

References

1. Zubairova U. S., Doroshkov A. V. Pattern epidermisa lista pshenitsy kak model' dlya izucheniya vliyaniya stressovykh uslovii na morfogenez [Wheat leaf epidermis pattern as a model for studying the effect of stress conditions on morphogenesis] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2018. № 22(7). S. 837–844. DOI: 10.18699/VJ18.32-о
2. Karmanenko N. M. Sortovaya reaktsiya zernovykh kul'tur na nizkie temperatury, usloviya zakisleniya i iony alyuminiya [Varietal response of grain crops to low temperatures, acidification and aluminum ions] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2014. T. 49, № 5. S. 66–77.
3. Kolupaev Yu. E., Gorelova E. I., Yastreb T. O., Ryabchun N. I., Kirichenko V. V. Stress-protektornye reaktsii prorostkov pshenitsy i rzhi pri indutsirovanii ustoichivosti k nizkim temperaturam donorom serovodoroda [Stress-protective responses of wheat and rye seedlings when inducing resistance to low temperatures with a hydrogen sulfide donor] // Fiziologiya rastenii. 2019. T. 66, № 4. S. 277–285.
4. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Doroshenko E. S., Zasypkina I. M., Bragin R. N. Otsenka iskhodnogo materiala yarovogo yachmenya v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Estimation of the initial material of spring barley in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 1. S. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10
5. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Bendina Ya. B., Safonova I. V., Anis'kov N. I. Stressoustoichivost' sortov yachmenya razlichnogo agroekologicheskogo proiskhozhdeniya dlya uslovii rezkokontinental'nogo klimata [Stress resistance of barley varieties of different agroecological origin for a sharply continental climate] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2020. T. 181, № 4. S. 44–45.
6. Ma S., Huang X., Zhao X., Liu L., Zhang L., Gan B. Current status for utilization of cold resistance genes and strategies in wheat breeding program // Frontiers in Genetics. 2024. Vol. 15, Article number: 1473717. DOI: 10.3389/fgene.2024.1473717
7. Muñoz-Amatrián M., Hernandez J., Herb D., Baenziger P. S., Bochard A. M., Capettini F., ... & Hayes P. Perspectives on low temperature tolerance and vernalization sensitivity in barley: prospects for facultative growth habit // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11, Article number: 585927.

Поступила: 21.01.25; доработана после рецензирования: 30.01.25; принята к публикации: 30.01.25.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ИЗУЧЕНИЕ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПРОРАСТАНИИ СЕМЯН И ПРОДУКТИВНОСТЬ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ В РАННИХ СРОКАХ ПОСЕВА

А. Г. Горбачева, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела первичного семеноводства кукурузы, gorba4ewa.a@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;
В. В. Дридигер, кандидат сельскохозяйственных наук, врио директора, 976067@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-4870-7232
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы»,
357528, Ставропольский край, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14 О, пом. 1;
e-mail: 976067@mail.ru; Тел. 8(8793) 97-60-67

Исследования проводили в 2022–2023 гг. в Предгорном районе Ставропольского края при раннем и оптимальном сроках посева. Изучены 4 материнские и 4 отцовские формы гибридов кукурузы Машук 140, Машук 171, Байкал и Машук 250 СВ. Опыты закладывали по единой методике с использованием семян родительских форм урожая 2015–2022 годов. Хранение семян репродукций прошлых лет осуществляли в морозильной камере при температуре -18°C . Статистическую обработку данных с целью определения существенности различий и доли влияния факторов проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием программы AGROS-2.09. Установлено, что лабораторная всхожесть семян при температуре 20°C вне зависимости от года производства семян была не ниже 90 %. При холодном методе проращивания только у родительских форм Крона С и Мальвина С урожая 2022 г. она составила 79–81 %. По показателям полевой всхожести выделены генотипы с высокой степенью стрессоустойчивости при прорастании в раннем сроке посева: Аврора С, РВ 197. С низкой степенью стрессоустойчивости оказались родительские формы Крона С, Мальвина С. Доля влияния фактора «генотип» при неблагоприятных условиях прорастания (ранний срок посева) в 2023 г. составила 54 %. При ранних сроках посева цветение участков гибридизации происходило при более благоприятном температурном режиме, что благоприятствовало опылению участков гибридизации и получению более высоких урожаев на семеноводческих посевах. Сроки посева оказали влияние на высоту растений и высоту прикрепления початков, особенно самоопыленных линий – отцовских форм. Ранние сроки посева участков гибридизации (конец первой декады апреля) в Предгорном районе Ставропольского края оказались предпочтительными для получения высоких урожаев семян.

Ключевые слова: родительские формы кукурузы, лабораторная всхожесть, полевая всхожесть, сроки посева, количество дней от всходов до цветения початка, урожай зерна.

Для цитирования: Горбачева А. Г., Дридигер В. В. Изучение стрессоустойчивости при прорастании семян и продуктивность родительских форм гибридов кукурузы в ранних сроках посева // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-67-73.



STUDY OF STRESS RESISTANCE DURING SEED GERMINATION AND PRODUCTIVITY OF PARENTAL FORMS OF MAIZE HYBRIDS AT EARLY SOWING PERIODS

A. G. Gorbacheva, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of primary maize seed productivity, gorba4ewa.a@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;
V. V. Dridiger, Candidate of Agricultural Sciences, deputy director, 976067@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-4870-7232
FSBSI All-Russian research scientific institute of corn,
357528, Stavropol Krai, Pyatigorsk, Ermolova St., 14 O, pom. 1
e-mail: 976067@mail.ru; tel. 8(8793) 97-60-67

The current study was conducted at early and optimal sowing periods in the Predgorny district of the Stavropol Krai in 2022–2023. There were studied four maternal and four paternal forms of maize hybrids 'Mashuk 140', 'Mashuk 171', 'Baikal' and 'Mashuk 250 SV'. The trials were carried out according to a unified methodology using seeds of parental forms of the 2015–2022 harvest. Seeds of past years were stored in a freezer at a temperature of -18°C . Statistical processing of data to determine the significance of differences and the share of factors' effect was carried out by the method of two-factor dispersion analysis using the program AGROS-2.09. There was established that the laboratory seed germination at a temperature of $+20^{\circ}\text{C}$, regardless of the year of seed production, was not less than 90 %. With the cold germination method, the parental forms 'Krona S' and 'Malvina S' of the 2022 harvest had 79–81 % of germination. According to field germination indicators, there were identified the genotypes 'Aurora S', 'RV 197' with a high degree of stress resistance during germination at an early sowing period. The parental forms 'Krona S' and 'Malvina S' had a low degree of stress resistance. The share of the effect of the factor 'genotype' under unfavorable germination conditions (early sowing date) in 2023 was 54 %. At early sowing periods flowering of hybridization areas occurred under more favorable temperature conditions, which was favorable to pollination of hybridization areas and obtaining higher yields in seed crops. The sowing periods affected plant height and cob attachment height, especially for self-pollinated lines, i.e. paternal forms. Early sowing periods of hybridization areas (end of the first decade of April) in the Predgorny district of the Stavropol Krai turned out to be favorable for obtaining high seed yields.

Keywords: parental forms of maize, laboratory germination, field germination, sowing periods, number of days from germination to cob flowering, grain yield.

Введение. Успешное внедрение кукурузы в сельскохозяйственное производство зависит от налаженного технологичного семеноводства и наличия высококачественных гибридных семян кукурузы. Выделение родительских форм с высокой семенной продуктивностью, устойчивостью к прикорневому полеганию, основным вредителям и болезням, отличающихся засухоустойчивостью, холодостойкостью, является важным элементом адаптивности родительских форм, используемых в семеноводстве (Горбачева и др., 2023, Кривошеев и др., 2023, Sotchenko et al., 2018,).

При выращивании участков гибридизации кукурузы характерны значительные колебания температуры воздуха и почвы. Холодостойкость кукурузы определяется в том числе через повышенный уровень непредельных жирных кислот в зародыше, высокое содержание проламинов и интенсивным гидролизом их в период прорастания семян, другими особенностями биохимии и физиологии растений (Zhao et al., 2019; Panfilov et al., 2020). Эти признаки варьируют в генофонде кукурузы и обеспечивают разнообразие исходного материала в селекционном процессе на холодостойкость (Сотченко и др., 2020, 2021).

Важным источником стресса для растений кукурузы в семеноводстве может быть и засуха (Кривошеев и др., 2014, 2018, Панфилова и др., 2020). Поэтому засухоустойчивость родительских форм является необходимым условием реализации генетического потенциала кукурузы. Этот признак варьирует и реализуется благодаря мощному стартовому росту корневой системы, высокой способностью к удержанию влаги в клетках паренхимы, повышенной концентрации хлорофилла «b», способности к быстрому переходу на различные по интенсивности уровни транспирации (Ao et al., 2020). С учетом вышесказанного, изучение реакции гибридов на стресс является весьма актуальным вопросом. Поэтому задачу изучения нормы реакции генотипов на изменение внешних условий можно свести к оценке их экологической пластичности и стабильности (Рыбась, 2016).

Впервые изучена полевая всхожесть восьми родительских форм гибридов кукурузы в ранних сроках посева. Цель исследований – выявление стрессоустойчивости при прорастании семян в полевых условиях, используя ранние сроки посева и определение совпадения цветения материнских и отцовских форм для опыления гибридов в производственных посевах на участках гибридизации.

Материалы и методы исследования. Исследования выполнены на опытном поле отдела первичного семеноводства ФГБНУ ВНИИ кукурузы в Предгорном районе Ставропольского края в соответствии с «Методическими указаниями по проведе-

нию полевых опытов с кукурузой» (1980). Посевные качества семян определяли по методике Сотченко В.С. и др., (2021) при 20 °С и методом холодного проращивания (колд-тест 4 дня при 10 °С и 7 дней при 20 °С). В изучении находились 4 материнские и соответственно 4 отцовские формы гибридов кукурузы – Машук 140, Машук 171, Байкал и Машук 250 СВ. В 2022 г. высевали семена урожая 2015–2020 гг., которые все годы хранились в морозильной камере при температуре –18 °С; в 2023 г. в изучении использовали свежие репродукции урожая 2022 г. родительских форм Аврора С, Милена М, РВ 197, Крона С, Мальвина С и РГ 218 ВС.

Ранний срок посева был проведен в 2022 г. 11 апреля, оптимальный – 25 апреля, в 2023 г. – соответственно 11 и 26 апреля. Температура почвы в слое до 10 см составила соответственно по срокам посева в 2022 г. 9 и 14 °С, в 2023 гг. – 8 и 12 °С, среднесуточная температура воздуха – 12,9 и 14,7 °С по срокам посева в 2022 г. и 9,1 и 13,7 °С в 2023 году. Полевую всхожесть определяли путем подсчета растений после появления всходов. Испытания проводили на 6-рядковых делянках с учетной площадью 23,5 м² в трехкратной повторности. В течение всей вегетации осуществляли фенологические наблюдения. Уборку урожая провели вручную с определением уборочной влажности зерна.

Почва опытного поля – чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см около 4 %. За вегетационный период с апреля по октябрь в 2022 гг. выпало около 344 мм осадков, в 2023 г. – 342 мм. В 2022 осадки выпали преимущественно в первой декаде мая, третьей декаде июня и в октябре. В 2023 г. основное количество осадков выпало в мае, в первой и второй декадах июня. Гидротермический коэффициент рассчитали по месяцам. В 2022 г. он составил в мае 2,0, июне – 1,5, июле 0,1; в 2023 г. соответственно 1,3; 2,2 и 0,5. В июле в период цветения кукурузы сложились не очень благоприятные условия.

Результаты и их обсуждение. Для изучения посевных качеств семян перед посевом в 2022 и 2023 гг. определяли лабораторную всхожесть семян при температуре 20 °С методом холодного проращивания. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Лабораторная всхожесть семян всех родительских форм в 2022 г. при 20 °С оказалась кондиционной и составила 91–99 % независимо от года репродукции. Более низкая лабораторная всхожесть была у родительской формы Крона С урожая 2019 г. (91 %). Высокие показатели лабораторной всхожести семян при холодном проращивании показали родительские формы Милена М урожая 2015 г. (98 %) и Аврора С урожая 2016 г. (95 %). Лабораторная всхожесть линий РД 4202 урожая 2020 г. и РВ 197 урожая 2018 г. при холодном про-

ращивании оказалась на уровне 89 %. В 2023 г. только линии РМ 146 и РД 4202 остались репродукции 2020 года. Лабораторная всхожесть этих семян при температуре 20 °С снизилась в сравнении с уровнем 2022 г. соответственно на 2 и 5 %. Различия по лабораторной всхожести семян между режимами

проращивания оказались достоверно ниже в 2022 г. у родительских форм РД 4202 и РВ 197, в 2023 г. – у родительских форм Крона С, Мальвина С и РГ 218 ВС. Коэффициент вариации по показателям лабораторной всхожести не превышал 7,4 %.

Таблица 1. Лабораторная всхожесть семян родительских форм гибридов кукурузы (2022–2023 гг.)

Table 1. Laboratory seed germination of parental forms of maize hybrids (2022–2023)

Название	Лабораторная всхожесть, %					
	2022 г.			2023 г.		
	год выращивания семян	при 20 °С	колд-тест	год выращивания семян	при 20 °С	колд-тест
Аврора С♀	2016	97	95	2022	96	96
РМ 146♂	2020	93	93	2020	91	90
Милена М♀	2015	99	98	2022	95	95
РВ 197♂	2018	95	89	2022	97	97
Крона С♀	2019	91	91	2022	95	79
РД 4202♂	2020	95	89	2020	90	90
Мальвина С♀	2016	95	91	2022	94	81
РГ 218 ВС♂	2016	93	91	2022	98	91
Коэффициент вариации, %		2,6	3,4	–	2,9	7,4
НСР ₀₅ : Фактор А (режимы) – 2022 г. (–), 2023 г. – (2,65)						
Фактор В (генотип) – 2022 г. (–), 2023 г. – (5,30)						
Взаимодействие АВ – 2022 г. (–), 2023 г. – (7,50)						

Примечание. ♀ – материнская форма, ♂ – отцовская форма.

При этом высокий уровень полевой всхожести в 2022 г. при раннем посеве имела материнская форма Аврора С урожая 2016 г. (92 %) (табл. 2). У других родительских форм этот показатель находился в пределах 84–86 %. При оптимальном сроке посева полевая всхо-

жесть родительских форм была выше на 3–7 % по сравнению с ранним сроком, и только родительские формы Крона С, Мальвина С и РГ 218 ВС имели полевую всхожесть ниже 90 %.

Таблица 2. Полевая всхожесть семян родительских форм гибридов кукурузы (2022–2023 гг.)

Table 2. Field seed germination of parental forms of maize hybrids (2022–2023)

Название	Полевая всхожесть, %			
	2022 г.		2023 г.	
	ранний посев	оптимальный посев	ранний посев	оптимальный посев
Аврора С♀	92	91	84	90
РМ 146♂	84	91	78	86
Милена М♀	86	93	82	89
РВ 197♂	86	92	88	92
Крона С♀	84	89	67	80
РД 4202♂	85	92	72	83
Мальвина С♀	86	84	68	80
РГ 218 ВС♂	86	89	77	85
Коэффициент вариации, %	2,9	3,2	9,8	5,3

В раннем сроке посева в 2022 г. всходы появились на 16–18-й день, в оптимальном – на 11–12-й, что на 5–6 дней меньше.

В 2023 г. в раннем посеве всходы появились на 20–25-й день, в оптимальном посеве – на 11–12-й день (табл. 3).

Таблица 3. Количество дней от посева до появления всходов родительских форм гибридов кукурузы при двух сроках посева (2022–2023 гг.)

Table 3. Number of days from sowing to germination of parental forms of maize hybrids at two sowing periods (2022–2023)

Название	Количество дней от посева до всходов			
	ранний посев		оптимальный посев	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Аврора С♀	16	20	11	11
РМ 146♂	18	24	12	12

Продолжение табл. 3

Название	Количество дней от посева до всходов			
	ранний посев		оптимальный посев	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Милена М♀	16	21	11	11
РВ 197♂	18	25	12	12
Крона С♀	16	22	11	11
РД 4202♂	18	24	12	12
Мальвина С♀	16	21	11	11
РГ 218 ВС♂	18	23	12	12

Примечание. Ранний посев: 11.04.22 г.; 11.04.23 г. Оптимальный посев: 25.04.22 г.; 26.04.23 г.

В этих обстоятельствах полевая всхожесть семян в раннем посеве не превышала 67–88 %. Лучшая устойчивость к стрессовым факторам прорастания семян отмечена для родительской формы РВ 197 (88 %) и Аврора С (84 %). У этих же родительских форм полевая всхожесть при оптимальном посеве составила соответственно 92 и 90 %. Очень низкие показате-

ли полевой всхожести при раннем посеве в 2023 г. имели родительские формы Крона С, Мальвина С, РД 4202 (67–72 %), при оптимальном сроке посева полевая всхожесть этих же семян была выше на 11–13 %. Доля влияния факторов на полевую всхожесть семян по годам представлена в таблице 4.

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа изучения родительских форм кукурузы по полевой всхожести семян (2022–2023 гг.)

Table 4. Results of the analysis of variance of parental forms of maize hybrids according to field germination of seeds (2022–2023)

Источник варьирования	Полевая всхожесть семян					
	2022 г.			2023 г.		
	Фф	НСП	доля влияния фактора	Фф	НСП	доля влияния фактора
Сроки посева (А)	9,6*	2,41	24,9	78,3*	1,94	30,2
Генотип (В)	1,5	–	18,0	20,6*	3,88	54,0
Взаимодействие (АВ)	1,3	–	10,3	1,4	–	4,6
Остаток	–	–	46,8	–	–	11,2

Примечание. * – достоверно при уровне значимости 0,05.

По F критерию в 2022 г. достоверное влияние на полевую всхожесть семян оказали только сроки посева, в 2023 г. – сроки посева и генотипы. В более благоприятных условиях для прорастания семян 2022 г. высокая доля влияния пришлась на остаток (46,8 %). Сроки посева оказали влияние на 24,9 %, генотипы – на 18 %. В более жестких для прорастания семян условиях 2023 г. большее влияние на полевую всхожесть (54 %) оказали генотипы. Доля влияния сроков посева составила 30,2 %.

Об этом свидетельствуют полученные экспериментальные данные.

Наступление фазы цветения початков и метелок на участках гибридизации имеет большое значение для совпадения цветения материнских и отцовских форм на участках гибридизации. Цветение початков в опыте в 2022 г. в раннем сроке посева наступило с 21 июня по 6 июля. В оптимальном сроке посева эта фаза развития наступила с 27 июня по 14 июля, что на 6–7 дней позже по сравнению с ранним сроком посева (табл. 5).

Таблица 5. Дата цветения метелок и початков родительских форм гибридов кукурузы при двух сроках посева (2022 и 2023 гг.)

Table 5. Date of panicle and cob flowering of parental forms of maize hybrids at two sowing periods (2022, 2023)

Название	Дата цветения							
	метелок				початков			
	ранний посев		оптимальный посев		ранний посев		оптимальный посев	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Аврора С♀	ст	ст	ст	ст	23.06	28.06	1.07	4.07
РМ 146♂	22.06	26.06	27.06	29.06	21.06	26.06	27.06	30.06
Милена М♀	ст	ст	ст	ст	29.06	5.07	5.07	9.07
РВ 197♂	26.06	3.07	3.07	7.07	26.06	4.07	4.07	8.07
Крона С♀	ст	ст	ст	ст	30.06	5.07	7.07	10.07
РД 4202♂	28.06	5.07	5.07	7.07	30.06	5.07	6.07	8.07
Мальвина С♀	ст	ст	ст	ст	30.06	7.07	8.07	11.07
РГ 218 ВС♂	5.07	10.07	12.07	15.07	6.07	10.07	14.07	16.07

Примечание. ст – стерильная метелка.

При цветении родительских форм в раннем сроке посева максимальные температуры воздуха не превышали 24–28 °С, при оптимальном сроке посева находились в пределах 28–32 °С. Цветение початков в 2023 г. при раннем сроке наступило с 26 июня по 14 июля, в оптимальном сроке – с 30 июня по 16 июля. При этом цветение початков при раннем посеве также проходило в более благоприятных температурных условиях. При оптимальном сроке посева максимальная температура воздуха была на уровне 30–32 °С. Таким образом, наиболее благоприятные условия для опыления родительских форм в оба года изучения складывались при раннем сроке посева.

Полученные данные позволяют рекомендовать сроки посева родительских форм для совпадения цветения початков материнской формы с метелками отцовской формы на участках гибридизации. Например, для гарантированного опыления гибрида Машук 140 (♀Аврора С х ♂РМ 146) материнская форма высевается без отцовской формы. Отцовскую форму необходимо высевать по всходам материнской формы. Для совпадения цветения родительских форм гибрида Машук 171 (♀Милена М х ♂РВ 197), гибрида Байкал

(♀Крона С х ♂РД 4202) одновременно с материнской формой сеют один ряд отцовской формы. Второй ряд отцовской формы всевают после появления всходов на материнской форме. Родительские формы гибрида Машук 250 СВ (♀Мальвина С х РГ 218 ВС) на участках гибридизации высевают одновременно. Эти рекомендации будут способствовать полному опылению материнской формы на участках получения гибридных семян кукурузы.

На участках гибридизации урожай семян собирают только с материнской формы гибрида, отцовскую форму выкашивают после цветения. В условиях 2022 г. у простых гибридов родительских форм не отмечено существенной разницы по урожаю зерна по срокам посева, наметилась лишь тенденция к снижению урожая в оптимальном сроке посева. Урожай зерна материнских форм гибридов составил 3,8–7,2 т с 1 га. У отцовских форм урожай зерна выше при ранних сроках посева по сравнению с оптимальным сроком (табл. 6). В 2023 г. урожай зерна материнских форм составил 3,8–8,3 т/га. При этом у родительских форм Аврора С, Милена М, Мальвина С показатель «урожай зерна» на 0,4–0,9 т/га оказался выше в раннем сроке посева.

**Таблица 6. Урожай зерна и ломкость стебля
ниже початка родительских форм гибридов кукурузы (2022, 2023 гг.)**
**Table 6. Grain yield and stem fragility
below a cob of parental forms of maize hybrids (2022, 2023)**

Название	Урожай зерна, т/га				Ломкость стебля ниже початка, %			
	1		2		1		2	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Аврора С♀	5,6	6,9	5,1	6,0	7,7	0,7	5,2	1,4
РМ 146♂	1,4	2,0	0,4	1,8	6,8	3,6	12,0	4,9
Милена М♀	6,8	7,6	5,8	6,8	5,8	1,3	7,5	0,7
РВ 197♂	3,2	4,5	2,9	4,1	2,6	0	4,0	2,0
Крона С♀	3,8	4,9	3,8	5,0	6,1	0,8	1,3	0,7
РД 4202♂	3,3	3,9	2,8	3,8	9,9	0,7	7,4	2,0
Мальвина С♀	7,2	8,3	7,2	7,9	2,0	0,7	4,6	2,7
РГ 218 ВС♂	4,3	5,1	3,8	4,8	0,6	0	2,0	3,5
НСР ₀₅ : Фактор А (сроки) – 2022 г. (0,37), 2023 г. – (0,18)								
Фактор В (генотип) – 2022 г. (0,75), 2023 г. – (0,37)								
Взаимодействие АВ – 2022 г. (1,06), 2023 г. – (–)								

Примечание. Дата уборки 2022 г.: ранний срок – 30.08, оптимальный срок – 8.09.
2023 г.: ранний срок – 28.08, оптимальный срок – 4.09;
1 – ранний посев, 2 – оптимальный посев.

Однако фактически урожай зерна на участках гибридизации получается меньше, в том числе и в зависимости от ломкости стебля ниже початка. При перестое растений (уборочная влажность в пределах 12–20 %) ломкость стебля достигала 12 % при оптимальном посеве в 2022 г. и до 4,9 % в 2023 году. Это приводит к потерям урожая зерна при механизированной уборке. Следовательно, уборку семян на участке гибридизации необходимо проводить при влажности зерна до 25 %.

Высота растений и высота прикрепления початка имеют значение для механизирован-

ной уборки семян на участках гибридизации. Эти показатели варьируют как по срокам посева, так и годам изучения. Разница по отдельным родительским формам составила до 50 см по высоте растений и до 27 см по высоте прикрепления початков. В 2022 г. высота растений при раннем сроке посева была значительно выше по сравнению с оптимальным сроком посева, в 2023 г. была незначительной или отсутствовала. Особое значение высота растений имеет для отцовских форм линий. В 2022 г. отцовская линия РМ 146 в раннем сроке посева имела высоту растений 156 см, в оптималь-

ном – всего 114 см, в 2023 г. – соответственно 128 и 125 см. Чем выше растение, тем дальше полетит пыльца для опыления материнской

формы. Эта же линия отличается очень низким прикреплением початка – 20–37 см (табл. 7).

Таблица 7. Высота растений и высота прикрепления початков родительских форм гибридов кукурузы при двух сроках посева (2022, 2023 гг.)
Table 7. Plant height and cob attachment height of parental forms of maize hybrids at two sowing periods (2022, 2023)

Название	Высота растений, см				Высота прикрепления початков, см			
	ранний		оптимальный		ранний		оптимальный	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
Аврора С♀	251	210	198	190	88	70	68	72
РМ 146♂	156	114	128	125	37	20	28	25
Милена М♀	267	211	236	217	99	76	84	79
РВ 197♂	187	169	176	165	67	48	53	47
Крона С♀	206	175	187	173	79	62	66	64
РД 4202♂	203	186	184	183	68	51	68	55
Мальвина С♀	244	213	228	216	89	75	81	77
РГ 218 ВС♂	197	176	179	170	83	71	74	55

Выводы. Родительские формы линии и стерильные простые гибриды урожая 2015–2020 гг. сохранили лабораторную всхожесть семян после холодного хранения на уровне 91–99 %. Высокие значения лабораторной всхожести семян при холодном проращивании показали родительские формы Милена М урожая 2015 г. (98 %) и Аврора С урожая 2016 г. (95 %). Лабораторная всхожесть линий РД 4202 урожая 2020 г. и РВ197 урожая 2018 г. при холодном проращивании оказалась на уровне 89 %. Таким образом, холодное хранение некоторых партий семян позволяет сохранять посевные качества семян минимум до восьми лет. Ранние сроки посева могут выявить стрессоустойчивые к пониженным температурным условиям генотипы родительских форм. По показателям полевой всхожести выделены генотипы с высокой степенью стрессоустойчивости при прорастании на раннем сроке посева: Аврора С, РВ 197. С низкой степенью стрессоустойчивости оказались родительские формы Крона С,

Мальвина С. Доля влияния фактора «генотип» при неблагоприятных условиях прорастания (ранний срок посева) в 2023 г. составила 54 %. Сроки посева существенно влияют на развитие растений родительских форм и в опыте. С учетом изученных показателей для родительских форм четырех гибридов кукурузы в условиях 2022 и 2023 гг. предпочтительны ранние сроки посева.

Финансирование. Работа по материалам статьи проводилась за счет средств федерального бюджета по госзаданию № 1023071800011-8-4.1.1: «Создать гибриды кукурузы нового поколения разных групп спелости и направления использования, с ценными хозяйственно-полезными признаками, адаптивными к био и абио факторам различных регионов Российской Федерации и изучить элементы технологии выращивания семян кукурузы для их внедрения в сельскохозяйственное производство с целью импортозамещения».

Библиографический список

1. Горбачева А. Г., Орлянская Н. А., Ветошкина И. А., Чеботарев Д. С. Результаты оценки адаптивности родительских форм – линий кукурузы // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp4-10
2. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Орлянская Н. А., Панфилова О. Н. Параметры экологической пластичности и стабильности родительских форм гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-82-88
3. Кривошеев Г. Я., Ионова Е. В., Шевченко Н. А., Газе В. Л. Новые среднеспелые инбредные линии кукурузы для селекции на засухоустойчивость // Земледелие. 2018. № 8. С. 41–44. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10812
4. Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Ионова Е. В. Критерии оценки засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы // Аграрный вестник Урала. 2014. № 11 (129). С. 6–11.
5. Панфилова О. Н., Чугунова Е. В., Дерунова С. В. Исходный материал для селекции кукурузы на засухоустойчивость // Аграрный научный журнал. 2020. № 2. С. 29–37. DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp29-37
6. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. № 5(51). С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617
7. Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Орлянский Н. А., Орлянская Н. А., Соломко В. И. Сохранение жизнеспособности элитных семян линий кукурузы в процессе хранения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 65–71. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-4096-65-71

8. Сотченко В. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Соломко В. И. Методика определения лабораторной всхожести и силы роста семян. Кукуруза и сорго. 2021. № 1. С. 12–24. DOI: 10.25715/o8981-6773-2383-a
9. Ao S., Russelle M. P., Varga T., Feyereisen G. W., Coulter J.A. Drought tolerance in maize is influenced by timing of drought stress initiation // Crop Science. 2020. Vol. 60(3), P. 1591–1606. DOI: 10.1002/csc2.20108
10. Panfilov A. E., Zezin N. N., Kazakova N. I., Namyatov M. A. Adaptive approach in maize breeding for the Urals Region // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020. Vol. 14, P. 55–62. DOI: 10.46300/91011.2020.14.9
11. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Vetoshkina I. A. Seed sowing qualities of corn parental forms depending on the storage conditions and terms // Russian Agricultural Sciences. 2018. Vol. 44(6), P. 3505–509. DOI: 103103/S1068367418060162
12. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // Genes. 2019. Vol. 10(6), P. 445. DOI: 10.3390/genes10060445

References

1. Gorbacheva A. G., Orlyanskaya N. A., Vetoshkina I. A., Chebotarev D. S. Rezul'taty otsenki adaptivnosti roditel'skikh form – linii kukuruzy [Estimation results of estimating adaptability of parental maize forms and lines] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2023. № 1. S. 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2023i1pp4-10
2. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Orlyanskaya N. A., Panfilova O. N. Parametry ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti roditel'skikh form gibridov kukuruzy [Parameters of ecological adaptability and stability of parental forms of maize hybrids] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 1. S. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-82-88
3. Krivosheev G. Ya., Ionova E. V., Shevchenko N. A., Gaze V. L. Novye srednespelye inbrednye linii kukuruzy dlya selektsii na zasukhoustoichivost' [New middle-maturing inbred maize lines for breeding for drought resistance] // Zemledelie. 2018. № 8. S. 41–44. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10812
4. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ionova E. V. Kriterii otsenki zasukhoustoichivosti samoopylennykh linii kukuruzy [Estimation criteria of drought resistance of self-pollinated maize lines] // Agrarnyi vestnik Urala. 2014. № 11(129). S. 6–11.
5. Panfilova O. N., Chugunova E. V., Derunova S. V. Iskhodnyi material dlya selektsii kukuruzy na zasukhoustoichivost' [Initial material for breeding maize for drought resistance] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 2. S. 29–37. DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp29-37
6. Rybas' I. A. Povyshenie adaptivnosti v selektsii zernovykh kul'tur [Improving adaptability in breeding grain crops] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2016. № 5(51). S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617
7. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Orlyanskii N. A., Orlyanskaya N. A., Solomko V. I. Sokhraneniye zhiznesposobnosti elitnykh semyan linii kukuruzy v protsesse khraneniya [Preserving the viability of basic seeds of maize lines during storage] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2020. № 4. S. 65–71. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-4096-65-71
8. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Solomko V. I. Metodika opredeleniya laboratornoi vskhozhesti i sily rosta semyan [Methodology for determining the laboratory germination and growth power of seeds]. Kukuruza i sorgo. 2021. № 1. S. 12–24. DOI: 10.25715/o8981-6773-2383-a
9. Ao S., Russelle M. P., Varga T., Feyereisen G. W., Coulter J.A. Drought tolerance in maize is influenced by timing of drought stress initiation // Crop Science. 2020. Vol. 60(3), P. 1591–1606. DOI: 10.1002/csc2.20108
10. Panfilov A. E., Zezin N. N., Kazakova N. I., Namyatov M. A. Adaptive approach in maize breeding for the Urals Region // International Journal of Biology and Biomedical Engineering. 2020. Vol. 14, P. 55–62. DOI: 10.46300/91011.2020.14.9
11. Sotchenko V. S., Gorbacheva A. G., Panfilov A. E., Vetoshkina I. A. Seed sowing qualities of corn parental forms depending on the storage conditions and terms // Russian Agricultural Sciences. 2018. Vol. 44(6), P. 3505–509. DOI: 103103/S1068367418060162
12. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // Genes. 2019. Vol. 10(6), P. 445. DOI: 10.3390/genes10060445

Поступила: 22.10.24; доработана после рецензирования: 19.12.24; принята к публикации: 19.12.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Горбачева А. Г. – проектирование исследования, выполнение полевых опытов, сбор и математическая обработка данных, анализ и интерпретация данных, подготовка рукописи, оформление статьи; Дридигер В. В. – проектирование исследования, выполнение полевых опытов, анализ и интерпретация данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПО ПРИЗНАКУ «МАССА 1000 ЗЕРЕН» В УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. Н. Брагин, младший научный сотрудник, braginroman40@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-4617-751X

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Яровой ячмень, являясь одной из ведущих культур в аграрном производстве России, характеризуется повышенными показателями адаптивности, высокой устойчивостью к стресс-факторам абиотического и биотического типа. При изучении и оценке образцов ярового ячменя важно понимать влияние на адаптивную способность сортов не только по признаку «урожайность», но и на продуктивность, в том числе по признаку «масса 1000 зерен». Целью работы являлось изучение адаптивной способности сортов ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» за 2019–2021 гг. исследований в условиях Ростовской области. Количество изучаемых сортов – 29, 4-кратная повторность, по предшественникам подсолнечник, горох и кукуруза на зерно, стандартный сорт – Ратник при площади учетной делянки 10 м². Наибольшая масса 1000 зерен ярового ячменя по всем предшественникам получена у сортов Зерноградский 73, Приазовский 9, Азимут, Зерноградский 1701, Аркан, Зерноградский 1754. Наиболее изменчивым с коэффициентом изменчивости $V = 10,42\text{--}12,34\%$ оказался сорт Зерноградский 1721. Высокая стрессоустойчивость отмечена у сортов Зерноградский 1754 ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -0,1\text{--}-5,5$), Зерноградский 1752 ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -0,3\text{--}-2,3$) и Азимут ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -0,7\text{--}-5,8$). Наиболее генетически гибкими оказались сорта Зерноградский 1721 ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 41,5\text{--}49,6$) и Азимут ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 40,7\text{--}51,9$). По коэффициенту отзывчивости выделился сорт Зерноградский 1721 ($K_r = 1,15\text{--}1,19$). По совокупности признаков высоких показателей адаптивности и крупнозерности по всем предшественникам и годам проявили себя сорта Азимут и Аркан.

Ключевые слова: яровой ячмень, сорт, образец, экологическое сортоиспытание, масса 1000, адаптивность.

Для цитирования: Брагин Р. Н. Параметры адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 74–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-74-81.



ADAPTABILITY PARAMETERS OF SPRING BARLEY ACCORDING TO THE TRAIT '1000-GRAIN WEIGHT' IN THE ROSTOV REGION

R. N. Bragin, junior researcher, braginroman40@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Spring barley, being one of the leading crops in agricultural production in Russia, is characterized by increased adaptability and high resistance to abiotic and biotic stress factors. When studying and estimating spring barley samples, it is important to understand the impact on the adaptive capacity of varieties not only according to the trait 'productivity', but also according to the trait '1000-grain weight'. The purpose of the current work was to study the adaptive capacity of spring barley varieties according to the trait '1000-grain weight' in the Rostov region in 2019–2021. The number of studied varieties was 29 pcs., 4-fold repetition, sown after such forecrops as sunflower, peas and maize for grain. The standard variety was 'Ratnik', with the area of the accounting plot being 10 m². The largest 1000-grain weight of spring barley was obtained from the varieties 'Zernogradsky 73', 'Priazovsky 9', 'Azimut', 'Zernogradsky 1701', 'Arkan', 'Zernogradsky 1754' with all forecrops. The most variable was the variety 'Zernogradskiy 1721' with a variability coefficient $V = 10.42\text{--}12.34\%$. High stress resistance was identified in the varieties 'Zernogradskiy 1754' ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -0.1\text{--}-5.5$), 'Zernogradskiy 1752' ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -0.3\text{--}-2.3$) and 'Azimut' ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -0.7\text{--}-5.8$). The most genetically flexible varieties were 'Zernogradskiy 1721' ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 41.5\text{--}49.6$) and 'Azimut' ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 40.7\text{--}51.9$). The variety 'Zernogradskiy 1721' had the best coefficient of responsiveness ($K_r = 1.15\text{--}1.19$). The varieties 'Azimut' and 'Arkan' turned to be highly adaptable and coarse-grained with all forecrops and in all years.

Keywords: spring barley, variety, sample, ecological variety testing, 1000-grain weight, adaptability.

Введение. На современном этапе развития производства зерна ключевую роль играет разработка новых сортов, которые способны формировать высокую урожайность и качество даже в неблагоприятных условиях. Эта задача осложняется тем, что основные сортовые характеристики формируются в результате взаимодействия многочисленных генетических признаков, проявляемых в процессе роста рас-

тений под воздействием окружающей среды (Юсова и др., 2020). Один из критически важных признаков, влияющих на урожайность, это крупность зерна, выраженная в показателе массы 1000 зерен. Масса 1000 зерен напрямую связана с выполненностью и крупностью, определяет запасы питательных веществ, всхожесть и жизнеспособность семян, что делает сорта с крупным зерном более мощными

и продуктивными, способными обеспечивать высокий выход готовой продукции с хорошими технологическими свойствами. Поэтому в полевых условиях они дают мощные растения, обеспечивающие более высокий урожай (Турина и др., 2020; Гудзенко, 2016).

По мнению большинства экспертов, для точного определения адаптивного потенциала сортов актуально проводить экологические испытания с использованием различных статических методов оценки. Поэтому необходимость измерения адаптивности массы 1000 зерен через различные математические величины становится особенно важной. Исследования в этой области охватывают множество разнообразных подходов к оценке адаптивности сортов (Сурин и др., 2016). Экологическая пластичность сорта отражает его способность формировать стабильные показатели в разнообразных условиях среды. Пластичные сорта обладают всеми необходимыми критериями для становления основы современного растениеводства, особенно в свете глобальных климатических изменений. В настоящее время критически важно выявление и создание сортов, которые демонстрируют стабильность не только по базовым критериям (урожайность и качество), но и по крупности и выполненности зерна. На его форму и массу влияют биологические характеристики ячменя, включающие в себя двурядность и многорядность, пленчатость и голозерность и др. (Николаев и Юсова, 2020; Солонечный, 2017).

Целью работы являлось изучение адаптивной способности сортов ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» за 2019–2021 гг. исследований в условиях Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на опытных полях научного севооборота отдела селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2019–2021 гг. по трем предшественникам: подсолнечник, горох, кукуруза на зерно.

Объектом изучения являлись 29 сортов ярового ячменя отечественной селекции (ФГБНУ «АНЦ «Донской»). Стандартный сорт Ратник. Учетная площадь делянки 10 м² с нормой высева 500 всхожих семян на 1 м². Четырехкратная повторность и систематическое размещение делянок. Посев выполняли сеялкой Wintersteiger Plotseed.

Оценку полученных данных проводили согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019).

Показатель селекционной ценности (Sc) рассчитывали по методике В.В. Хангильдина и Н.А. Литвиненко (1981), показатель стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) – по уравнениям А.А. Rosielle,

J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко (2016), коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Кр.) – по методу В.А. Зыкина (2005), коэффициент вариации – по Б.А. Доспехову (2014).

Разнообразие погодных условий за годы исследований оказало различное влияние на показатель масса 1000 зерен, что позволило более точно оценить показатели адаптивности и выделить лучшие сорта ярового ячменя.

Согласно гидротермическому коэффициенту увлажнения Селянинова (ГТК) в 2019 г. условия сложились засушливые (ГТК = 0,72), в 2020-м – очень засушливые (ГТК = 0,64), в 2021-м – с достаточным увлажнением (ГТК = 1,26).

Результаты и их обсуждение. Масса 1000 зерен является более стабильным признаком, чем ряд других элементов продуктивности, однако и она подвержена достаточно большим колебаниям в зависимости от условий возделывания.

За годы исследований масса 1000 зерен по предшественнику подсолнечник варьировала от 34,0 г у сорта Тимофей до 53,0 г у сорта Азимут в 2019 году. В 2020 г. данный показатель находился в пределах от 32,5 г у сорта Новик до 49,3 г у сорта Азимут, в 2021 г. – от 27,3 г у сорта Новик до 41,0 г у сорта Азимут. В среднем за 3 года достоверно превысили стандарт Ратник (40,5 г) 10 сортов, представленных в таблице 1.

По предшественнику горох данный показатель изменялся от 33,0 г у сорта Новик до 51,8 г у сорта Азимут в 2019 году. В 2020 г. наблюдалось варьирование от 26,5 г у сорта Новик до 44,5 г у сорта Зерноградский 1701, в 2021 г. – от 28,5 г у сорта Новик до 43,0 г у сортов Аркан и Зерноградский 1685. В среднем за 3 года достоверно превысили стандарт Ратник (39,8 г) 9 сортов (табл. 1).

По предшественнику кукуруза на зерно показатель массы 1000 зерен находился в пределах от 33,0 г у сорта Новик до 50,8 г у сорта Азимут в 2019 году. В 2020 г. данный показатель изменялся от 29,8 г у сорта Новик до 47,0 г у сорта Азимут, в 2021 г. – от 27,0 г у сорта Новик до 46,5 г у сорта Зерноградский 1754. В среднем за 3 года достоверная прибавка по отношению к стандарту Ратник (40,3 г) наблюдалось у 14 сортов (табл. 1).

Сорта по признаку «масса 1000 зерен» в среднем за три года исследований были разделены согласно методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса (Лоскутов и др., 2012) на мелкозерные (32 %, < 40,0 г), среднезерные (59 %, 40,1–45,0 г) и крупнозерные (6 %, 45,1–50,0 г) (рис. 1).

Таблица 1. Масса 1000 зерен сортов ярового ячменя
по различным предшественникам (исследования 2019–2021 гг.)
Table 1. 1000-grain weight of spring barley
varieties sown after various forecrops in 2019–2021

Сорт	Масса 1000 зерен, г			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя
подсолнечник				
Ратник, st	44,3	41,3	36,0	40,5
Зерноградский 73	48,3	47,0	39,8	45,0
Тан 1	41,3	39,8	33,0	38,0
Приазовский 9	49,0	46,0	39,3	44,8
Щедрый	43,0	39,3	29,8	37,4
Леон	41,3	40,3	34,3	38,6
Новик	34,8	32,5	27,3	31,5
Грис	47,3	44,0	33,8	41,7
Федос	48,8	46,8	38,5	44,7
Формат	47,0	44,3	36,3	42,5
Азимут	53,0	49,3	41,0	47,8
Аркан	50,8	46,3	40,0	45,7
Феникс	43,1	41,8	39,8	41,6
Зерноградский 1628	44,0	42,5	37,0	41,2
Зерноградский 1685	48,0	43,8	39,3	43,7
Зерноградский 1701	45,8	47,5	40,3	44,5
Зерноградский 1716	50,3	45,0	38,5	44,6
Зерноградский 1717	46,8	41,5	33,8	40,7
Зерноградский 1719	43,8	41,0	33,8	39,5
Зерноградский 1721	41,0	39,3	32,0	37,4
Зерноградский 1724	43,8	42,0	33,0	39,6
Зерноградский 1752	45,0	43,3	41,0	43,1
Зерноградский 1754	46,2	44,8	42,3	44,4
Зерноградский 1756	41,3	39,3	32,3	37,6
Зерноградский 1763	46,8	43,8	40,5	43,7
Зерноградский 1768	47,2	44,3	38,3	43,3
Тимофей	34,0	35,0	31,8	33,6
Прерия	45,8	46,5	37,0	43,1
Вакула	44,3	42,0	32,3	39,5
НСР ₀₅	–	–	–	2,8
горох				
Ратник, st	45,0	38,5	35,8	39,8
Зерноградский 73	50,3	42,0	39,0	43,8
Тан 1	40,8	36,3	38,0	38,4
Приазовский 9	50,0	42,3	41,3	44,5
Щедрый	39,3	33,0	33,0	35,1
Леон	41,3	36,5	31,8	36,5
Новик	33,0	26,5	28,5	29,3
Грис	44,8	41,5	40,0	42,1
Федос	45,8	43,5	37,3	42,2
Формат	49,3	42,8	39,0	43,7
Азимут	51,8	43,5	40,8	45,4
Аркан	48,3	44,3	43,0	45,2
Феникс	45,1	40,5	41,8	42,5
Зерноградский 1628	44,3	39,0	37,8	40,4
Зерноградский 1685	50,0	40,3	43,0	44,4
Зерноградский 1701	50,3	44,5	39,0	44,6
Зерноградский 1716	50,5	42,0	41,3	44,6
Зерноградский 1717	44,5	39,0	40,8	41,4
Зерноградский 1719	45,5	35,3	38,0	39,6
Зерноградский 1721	42,5	33,0	34,5	36,7
Зерноградский 1724	44,3	33,8	36,3	38,1
Зерноградский 1752	45,3	41,0	40,3	42,2
Зерноградский 1754	46,1	43,5	41,0	43,5
Зерноградский 1756	45,2	34,0	33,8	37,7

Продолжение табл. 1

Сорт	Масса 1000 зерен, г			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	средняя
Зерноградский 1763	43,4	41,5	39,5	41,5
Зерноградский 1768	44,2	40,3	38,0	40,8
Тимофей	41,3	31,8	33,5	35,5
Прерия	46,0	41,5	38,3	41,9
Вакула	43,8	32,5	33,8	36,7
НСР ₀₅	—	—	—	3,1
кукуруза на зерно				
Ратник, st	43,3	40,8	36,8	40,3
Зерноградский 73	47,0	44,0	41,0	44,0
Тан 1	41,5	37,5	36,0	38,3
Приазовский 9	49,0	42,8	43,5	45,1
Щедрый	40,8	36,0	37,5	38,1
Леон	40,3	37,8	36,0	38,0
Новик	33,0	29,8	27,0	29,9
Грис	47,0	42,3	40,5	43,3
Федос	49,0	45,8	44,0	46,3
Формат	47,8	42,3	42,0	44,0
Азимут	50,8	47,0	40,3	46,0
Аркан	48,8	45,8	42,0	45,5
Феникс	47,3	39,5	43,0	43,3
Зерноградский 1628	40,5	40,8	40,3	40,5
Зерноградский 1685	46,3	43,0	42,0	43,8
Зерноградский 1701	46,5	46,3	40,5	44,4
Зерноградский 1716	47,3	43,5	39,5	43,4
Зерноградский 1717	42,3	37,0	38,3	39,2
Зерноградский 1719	42,5	38,5	36,5	39,2
Зерноградский 1721	36,8	36,8	37,3	37,0
Зерноградский 1724	42,0	36,3	37,5	38,6
Зерноградский 1752	45,2	43,0	41,5	43,2
Зерноградский 1754	46,7	44,5	46,5	45,9
Зерноградский 1756	43,2	38,0	34,3	38,5
Зерноградский 1763	46,3	43,0	40,8	43,4
Зерноградский 1768	45,1	43,8	37,0	42,0
Тимофей	37,3	34,0	35,3	35,5
Прерия	45,0	43,5	38,0	42,2
Вакула	40,8	37,0	39,3	39,0
НСР ₀₅	—	—	—	2,8

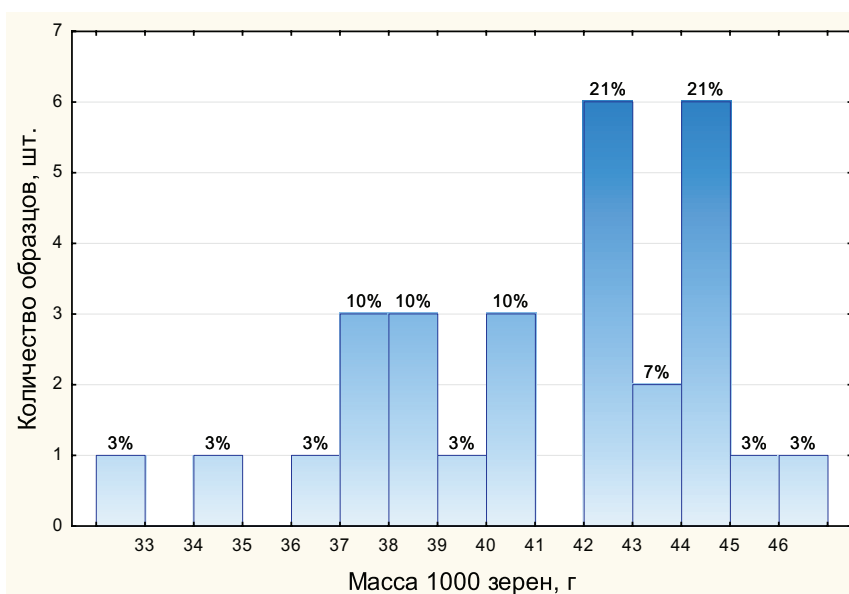


Рис. 1. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» (2019–2021 гг.)
Fig. 1. Distribution of spring barley varieties according to the trait '1000-grain weight' (2019–2021)

Согласно результатам трехфакторного дисперсионного анализа доля фактора «год» составила 82,5 %, что охарактеризовало его как основной влияющий показатель на форми-

рование массы 1000 зерен при данных условиях. Остальные факторы и их взаимодействие оказали слабое либо незначительное влияние (рис. 2).

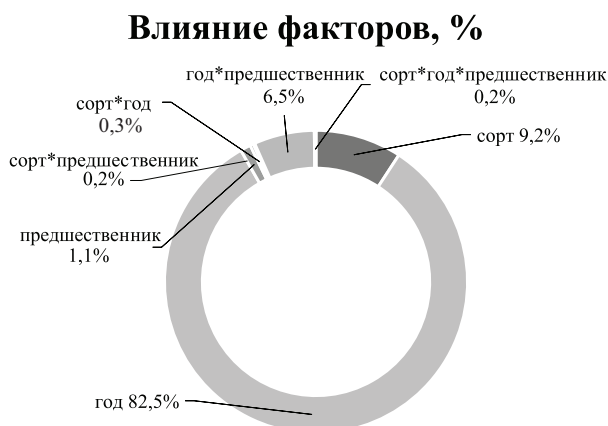


Рис. 2. Влияние факторов на формирование массы 1000 зерен (2019–2021 гг.)
Fig. 2. The effect of factors on the formation of 1000-grain weight (2019–2021)

При определении адаптивных показателей массы 1000 зерен было выявлено, что в 2019 г. наиболее благоприятные условия выращивания сложились по предшественнику горох ($I_j = +0,44$) и подсолнечник ($I_j = 0,44$), а неблагоприятные – по предшественнику кукуруза на зерно ($I_j = -0,68$). В 2020 г. наиболее благоприятные условия для формирования крупнозерности получены по предшественнику подсолнечник ($I_j = +2,02$), а неблагоприятные – по предшественнику горох ($I_j = -1,98$). В 2021 г. при ГТК – 1,26, кукуруза на зерно ($I_j = +1,36$) была наилучшим предшественником для формирования крупного зерна, в то время как предшественник подсолнечник показал наименьшие результаты ($I_j = -1,47$).

Одним из показателей адаптивности сорта является коэффициент вариации (V), выраженный в стандартном отклонении к средней арифметической данной совокупности. Согласно рекомендованной классификации при коэффициенте вариации $V < 10\%$ – слабая изменчивость, от 10 до 20 % – средняя, а при $V \geq 20\%$ – сильная. Проведенный анализ за 2019 г. показал варьирование данного признака от 0,48 % у сорта Зерноградский 1724 до 13,77 % у сорта Тимофей. Средняя изменчивость наблюдалась у сортов Тимофей ($V = 13,77\%$) и Зерноградский 1721 ($V = 10,42\%$), остальные сорта относились к слабо изменчивым. В 2020 г. данный показатель варьировал от 2,17 % у сорта Зерноградский 1754 до 18,08 % у сорта Вакула. Средняя изменчивость отмечена у семи изучаемых сортов: Зерноградский 1756 ($V = 10,53\%$), Зерноградский 1719 ($V = 10,56\%$), Зерноградский 1721, Щедрый ($V = 12,34\%$), Новик ($V = 14,36\%$), Зерноградский 1724 ($V = 15,91\%$) и Вакула ($V = 18,08\%$). В 2021 г. коэффициент вариации крупнозерности варьировал от 1,25 % у сорта Азимут до 16,36 % у сорта Щедрый. Средняя изменчивость отмечена у семи изучаемых сортов: Формат ($V = 10,31\%$),

Зерноградский 1721 ($V = 10,84\%$), Федос ($V = 12,65\%$), Зерноградский 1717 ($V = 13,33\%$), Грис ($V = 13,85\%$), Вакула ($V = 14,84\%$) и Щедрый ($V = 16,36\%$).

Показатель степени устойчивости сортов к неблагоприятным факторам среды, согласно уравнениям А. А. Rosielle, J. Hamblin, высчитывается по интервалу между минимальной и максимальной массой 1000 зерен ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Поскольку данный показатель имеет отрицательные значения, меньшая разница между минимальной и максимальной массой 1000 зерен и является показателем стрессоустойчивости сорта для различных условий среды. В 2019 г. данный показатель варьировал от -0,1 (Зерноградский 1754) до -7,3 (Тимофей), в 2020 г. – от -1,3 (Зерноградский 1754) до -9,5 (Вакула), в 2021 г. – от -0,7 (Азимут) до -7,7 (Щедрый) (рис. 3).

В 2019 г. к стрессоустойчивым сортам можно отнести Зерноградский 1754 (-0,1), Зерноградский 1752 (-0,3) и Тан 1 (-0,7). В 2020 г. наиболее стрессоустойчивым оказался сорт Зерноградский 1754 (-1,3). В 2021 г. по данному показателю выделились сорта Азимут (-0,7), Ратник (-1,0), Зерноградский 1752 (-1,2), Зерноградский 1763, Зерноградский 1768 и Прерия (по -1,3 соответственно).

Показатель генетической гибкости $((Y_{\min} + Y_{\max})/2)$ как один из показателей адаптивности использует при расчете компенсаторную способность, выраженную как средняя масса 1000 зерен в контрастных (стрессовых и не стрессовых) условиях. Генетическая гибкость определяет реакцию сорта на условия выращивания, высокое значение которого обуславливает степень соответствия между крупнозерностью сортов и факторами среды, влияющими на нее. Сорта с высоким показателем генетической гибкости по признаку «масса 1000 зерен» за годы изучения представлены в таблице 2.

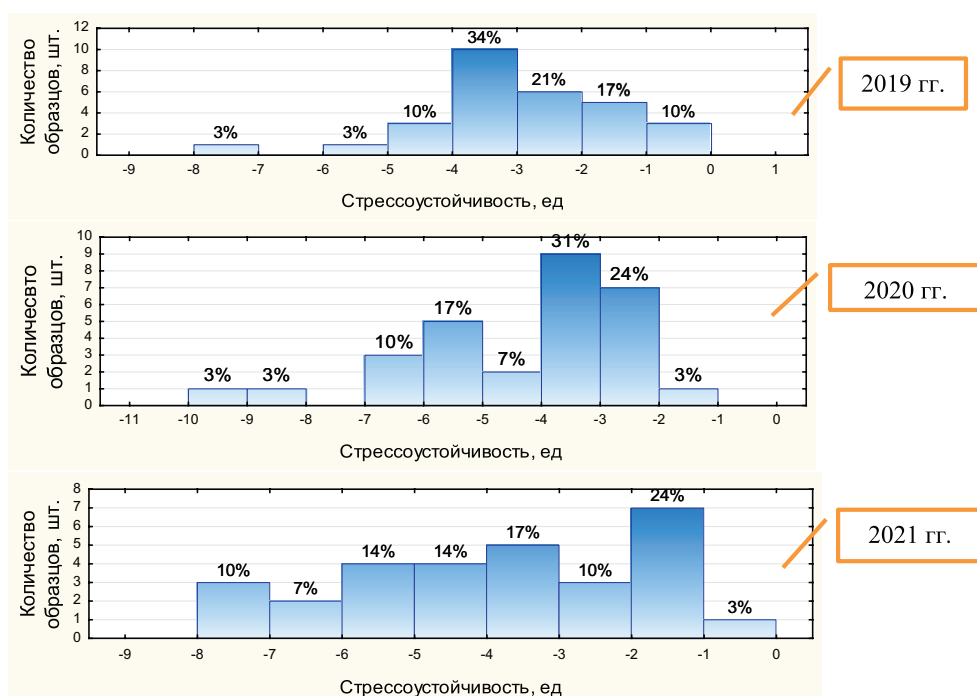


Рис. 3. Варьирование стрессоустойчивости сортов ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» (2019 г., 2020 г. и 2021 г.)

Fig. 3. Stress resistance variation of spring barley varieties according to the trait '1000-grain weight' (2019, 2020 and 2021)

Таблица 2. Генетическая гибкость выделившихся сортов ярового ячменя по массе 1000 зерен (2019–2021 гг.)

Table 2. Genetic flexibility of spring barley varieties with the largest 1000-grain weight (2019– 2021)

Сорт	Генетическая гибкость $((Y_{min}+Y_{max})/2)$		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Ратник, st	44,2	39,9	36,3
Зерноградский 73	48,7	44,5	40,0
Тан 1	41,2	38,1	35,5
Приазовский 9	49,5	44,2	41,4
Щедрый	41,9	36,2	33,7
Леон	40,8	38,4	33,9
Новик	33,9	29,5	27,8
Грис	46,1	42,8	37,2
Федос	47,4	45,2	40,7
Формат	48,2	43,3	39,2
Азимут	51,9	46,4	40,7
Аркан	49,6	45,3	41,5
Феникс	45,2	40,7	41,4
Зерноградский 1628	42,4	40,8	38,7
Зерноградский 1685	48,2	42,1	41,2
Зерноградский 1701	48,1	46,0	39,8
Зерноградский 1716	48,9	43,5	39,9
Зерноградский 1717	44,6	39,3	37,3
Зерноградский 1719	44,0	38,2	35,9
Зерноградский 1721	39,7	36,2	34,7
Зерноградский 1724	43,2	37,9	35,3
Зерноградский 1752	45,2	42,2	40,9
Зерноградский 1754	46,2	44,2	43,8
Зерноградский 1756	43,3	36,7	33,3
Зерноградский 1763	45,1	42,7	40,2
Зерноградский 1768	45,7	42,3	37,7
Тимофей	37,7	33,4	33,6
Прерия	45,5	44,0	37,7
Вакула	42,3	37,3	35,8
StDev	3,9	4,0	3,5

Стоит также отметить селекционную ценность генотипа (Sc), сочетающую в себе высокий показатель крупнозерности с адаптивными возможностями сортов. Данный показатель

в 2019 г. варьировал от 30,9 у сорта Тимофей до 49,7 у сорта Азимут, в 2020 г. – от 24,1 у сорта Новик до 43,5 у сорта Аркан, в 2021 г. – от 26,1 у сорта Новик до 40,0 у сорта Азимут (рис. 4).

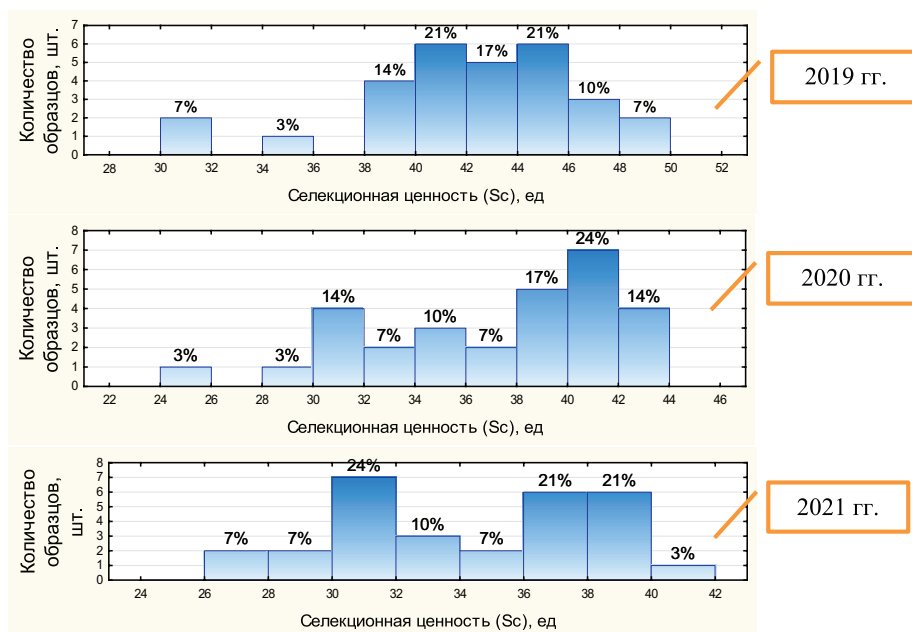


Рис. 4. Варьирование селекционной ценности сортов ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» (2019 г., 2020 г. и 2021 г.)

Fig. 4. Breeding value variation of spring barley varieties according to the trait '1000-grain weight' (2019, 2020 and 2021)

По показателю селекционной ценности (Sc) в 2019 г. выделились сорта Зерноградский 1716, Зерноградский 1754 (46,2), Аркан (46,9) и Азимут (49,7). В 2020 г. по показателю селекционной ценности массы 1000 зерен наибольший показатель отмечен у сортов Федос (42,2), Зерноградский 1754 (43,0), Зерноградский 1701 (43,2) и Аркан (43,5). В 2021 г. к ценным относились сорта Зерноградский 1754 (38,1), Феникс (38,4), Зерноградский 1701 (38,5), Аркан (38,8), Зерноградский 1763 (39,0), Зерноградский 1752 (39,7) и Азимут (40,0).

Коэффициент отзывчивости (Кр.) – это показатель, определяющий, на какие изучаемые сорта оказывает наибольшее влияние улучшение условий возделывания. За 2019 г. наибольший коэффициент отзывчивости по признаку крупнозерности отмечен у сортов Зерноградский 1717 (1,11), Зерноградский 1721 (1,15) и Тимофей (1,21). В 2020 г. по коэффициенту отзывчивости выделились сорта Зерноградский 1721, Щедрый (1,19), Новик (1,23), Зерноградский 1724 (1,24) и Вакула (1,29). В 2021 г. высокие показатели коэффициента отзывчивости по массе 1000 зерен отмечены у сортов Федос (1,18), Грис (1,20), Зерноградский 1717 (1,21), Вакула (1,22) и Щедрый (1,26).

Выводы. Наибольшая масса 1000 зерен ячменя по всем предшественникам получена у сортов Зерноградский 73, Приазовский 9, Азимут, Зерноградский 1701, Аркан, Зерноградский 1754.

На формирование крупнозерности за 2019–2021 гг. исследований главенствующее влияние оказал фактор «год» – 82,5 %. Наиболее изменчивым с коэффициентом изменчивости ($V = 10,42\text{--}12,34\%$) оказался сорт Зерноградский 1721. Высокая стрессоустойчивость отмечена у сортов Зерноградский 1754 ($(Y_{\min}-Y_{\max}) = -0,1\text{--}-5,5$), Зерноградский 1752 ($(Y_{\min}-Y_{\max}) = -0,3\text{--}-2,3$) и Азимут ($(Y_{\min}-Y_{\max}) = -0,7\text{--}-5,8$). Наиболее генетически гибкими оказались сорта Зерноградский 1721 ($(Y_{\min}+Y_{\max})/2 = 41,5\text{--}49,6$) и Азимут ($(Y_{\min}+Y_{\max})/2 = 40,7\text{--}51,9$). Сорта Зерноградский 1754, Аркан и Азимут отмечены как селекционно ценные (38,1–43,8; 41,5–43,5; 40,0–41,1 соответственно). По коэффициенту отзывчивости выделился сорт Зерноградский 1721 ($K_r = 1,15\text{--}1,19$).

По совокупности признаков высоких показателей адаптивности и крупнозерности по всем предшественникам и годам проявили себя сорта Азимут и Аркан.

Финансирование. Государственное задание № 0505-2022-0002.

Библиографический список

1. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 31–37.
2. Гудзенко В. Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(1). С. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469

3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений // Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.
5. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб., 2012. 63 с.
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. Вып. 1. 329 с.
7. Николаев П. Н., Юсова О. А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4(24). С. 135–142. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142
8. Солонечный П. Н. AMMI и GGE biplot анализ взаимодействия генотип–среда линий ячменя ярового // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(6). С. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283
9. Сурин Н. А., Ляхова Н. Е., Герасимов С. А., Липшин А. Г. Биологические особенности и селекционное значение сортов ячменя сибирской селекции // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 1. С. 13–21.
10. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Турин Е. Н., Зубоченко А. А., Прахов В. А. Оценка сортообразцов рожьки озимого (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) по экологической адаптивности // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 3. С. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.564rus
11. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1981. № 1. С. 8–14.
12. Юсова О. А., Николаев П. Н., Анисков Н. И., Сафонова И. В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105

References

1. Goncharenko A. A. Ekologicheskaya ustoichivost' sortov zernovykh kul'tur i zadachi selektsii [Environmental sustainability of grain crop varieties and breeding tasks] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 3. S. 31–37.
2. Gudzenko V. N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh linii yachmenya ozimogo [Statistical and graphical (GGE biplot) estimation of the adaptive capacity and stability of winter barley breeding lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. № 23(1). S. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469
3. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
4. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Methodology for calculating and assessing the parameters of ecological plasticity of agricultural plants] // Ufa: BashGAU, 2005. 100 s.
5. Loskutov I. G., Kovaleva O. N., Blinova E. V. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniuyu mirovoi kollektsii yachmenya i ovsa [Methodical recommendations for studying and preserving the world collection of barley and oats]. SPb., 2012. 63 s.
6. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology for the state variety testing of agricultural crops]. M., 2019. Vyp. 1. 329 s.
7. Nikolaev P. N., Yusova O. A. Stressoustoichivost' sortov yarovogo yachmenya omskoi selektsii v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Stress resistance of spring barley varieties bred in Omsk in the conditions of Western Siberia] // Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki. 2020. № 4(24). S. 135–142. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142
8. Solonechnyi P. N. AMMI i GGE biplot analiz vzaimodeistviya genotip–sreda linii yachmenya yarovogo [AMMI and GGE biplot analysis of the genotype–environment correlation of spring barley lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2017. № 21(6). S. 657–662. DOI: 10.18699/VJ17.283
9. Surin N. A., Lyakhova N. E., Gerasimov S. A., Lipshin A. G. Biologicheskie osobennosti i selektsionnoe znachenie sortov yachmenya sibirskoi selektsii [Biological characteristics and breeding significance of barley varieties bred in Siberia] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2016. № 1. S. 13–21.
10. Turina E. L., Prakhova T. Ya., Turin E. N., Zubochenko A. A., Prakhov V. A. Otsenka sortoobraztsov ryzhika ozimogo (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) po ekologicheskoi adaptivnosti [Estimation of the variety sample of winter camelina (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) according to ecological adaptability] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2020. T. 55, № 3. S. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.564rus
11. Khangil'din V. V., Litvinenko N. A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties] // Nauchno-tehnicheskii byulleten' VSGI. 1981. № 1. S. 8–14.
12. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Anis'kov N. I., Safonova I. V. Adaptivnost' sortov yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren» v usloviyakh lesostepi Omskoi oblasti [Adaptability of barley varieties based on the trait '1000-grain weight' in the forest-steppe of the Omsk region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 2. S. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105

Поступила: 16.01.24; доработана после рецензирования: 06.02.25; принята к публикации: 06.02.25.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Брагин Р. Н. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.11»324»:631.559

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-82-88

**ИЗУЧЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ
НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
СЕЛЕКЦИИ «АНЦ «ДОНСКОЙ»
ПО ПРЕДШЕСТВЕННИКУ ПОДСОЛНЕЧНИК**

А. В. Кири¹, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818;

Д. М. Марченко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

М. М. Иванисов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

И. А. Рыбась¹, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа, rybasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

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

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

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

Исследования проводили с 2022 по 2024 г. на опытных полях ФГБНУ «АНЦ «Донской». Объектом исследований послужили 13 сортов озимой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа. В качестве предшественника использовали подсолнечник. Целью наших исследований являлся анализ влияния структурных элементов урожая на продуктивность сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по предшественнику подсолнечник в южной зоне Ростовской области. Исследования, проводимые в течение трех лет, показали, что урожайность варьировала от 5,96 т/га у сорта Вольница до 7,22 т/га у сорта Донец. Количество продуктивных стеблей изменялось от 520 до 615 шт./м², максимальные значения получены у сортов Аюта (597 шт./м²) и Донец (615 шт./м²). Длина колоса варьировала от 8,1 см у стандартного сорта Дон 107 до 10,3 см у сорта Премьера. Количество колосков в колосе изменялось от 17,2 шт. (у стандартного сорта Дон 107) до 22,8 шт. (у сорта Амбар). Большинство сортов показали максимальные значения этого признака, которые превышали показатели стандартного сорта Дон 107 на 1,9–5,6 шт. Максимальное число зерен в колосе сформировали сорта Аюта (32,7 шт.), Подарок Крыму (33,0 шт.), Жаворонок (33,1 шт.) и Донец (35,2 шт.). В результате корреляционного анализа урожайности и ее элементов по предшественнику подсолнечник было установлено, что урожайность формировалась за счет количества продуктивных стеблей ($r = 0,71 \pm 0,24$), массы зерна с колоса ($r = 0,51 \pm 0,24$), массы 1000 зерен ($r = 0,44 \pm 0,26$). Остальные структурные элементы в меньшей степени влияли на продуктивность новых сортов.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, предшественник, урожайность, сорт, элементы структуры, количество продуктивных стеблей, масса 1000 зерен.

Для цитирования: Кири А. В., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Зеленская Г. М. Изучение урожайности и элементов структуры новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции «АНЦ «Донской» по предшественнику подсолнечник // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 82–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-82-88.

**STUDY OF YIELD AND ITS STRUCTURE ELEMENTS
OF NEW WINTER COMMON WHEAT VARIETIES DEVELOPED
BY THE “ARC “DONSKOY” ACCORDING TO THE FORECROP 'SUNFLOWER'**

A. V. Kirin¹, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818;

D. M. Marchenko¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

M. M. Ivanisov¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

I. A. Rybas¹, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, rybasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

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

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

²FSBEI HE "Donskoy State Agricultural University",

346493, Russia, Rostov region, Oktyabrsky district, v. Persiyonovskiy, Krivosheynov Str., 24;

e-mail: agrofak-dgau@yandex.ru

The study was conducted on the experimental plots of the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2022–2024. The objects of the study were 13 winter common wheat varieties of the competitive variety testing of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type. Sunflower was used as a forecrop. The purpose of the current study was to analyze the effect of the yield structure elements of the productivity of winter common wheat varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy", according to the forecrop 'sunflower' in the southern part of the Rostov region. The study was conducted over three years, and they showed that the productivity varied from 5.96 t/ha of the variety 'Volnitsa' to 7.22 t/ha of the variety 'Donetsk'. The number of productive stems varied from 520 pcs/m² to 615 pcs/m², the maximum values were established in the varieties 'Ayuta' (597 pcs/m²) and 'Donetsk' (615 pcs/m²). The ear length varied from 8.1 cm of the standard variety 'Don 107' to 10.3 cm of the variety 'Premiera'. The number of spikelets per ear varied from 17.2 pcs (the standard variety 'Don 107') to 22.8 pcs (the variety 'Ambar'). Most varieties have shown the maximum values of this trait, which exceeded the indicators of the standard variety 'Don 107' by 1.9–5.6 pieces. The maximum number of grains per ear was formed by the varieties 'Ayuta' (32.7 pieces), 'PodarokKrymu' (33.0 pieces), 'Zhavoronok' (33.1 pieces), 'Donetsk' (35.2 pieces). The correlation analysis of the yield and its elements according to the forecrop 'sunflower' has established that productivity was formed due to the number of productive stems ($r = 0.71 \pm 0.24$), grain weight per ear ($r = 0.51 \pm 0.24$), 1000-grain weight ($r = 0.44 \pm 0.26$). The rest yield structure elements were of a lesser effect on productivity of new varieties.

Keywords: winter common wheat, forecrop, productivity, variety, structure elements, number of productive stems, 1000-grain weight.

Введение. Озимая пшеница представляет собой одну из ключевых зерновых культур в нашей стране, занимая значительную долю в общем объеме производства. Повышение ее урожайности остается приоритетной задачей для сельскохозяйственной науки (Некрасов и др., 2018).

Оптимальный выбор предшественников в севооборотах играет важную роль в формировании условий, способствующих получению высоких урожаев зерна. Подсолнечник как предшествующая культура для озимой пшеницы имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Главное преимущество заключается в том, что после обработки пропашных культур ограничивается распространение болезней и вредителей озимой пшеницы. Однако при таком размещении имеются и недостатки, из которых основной – короткий период от уборки подсолнечника до посева озимой пшеницы, что затрудняет подготовку почвы. Эта культура является жестким предшественником, потому что почвенные запасы влаги и других питательных веществ, особенно азота, после подсолнечника практически исчерпаны. Практика показывает, что в южной зоне Ростовской области лучшими предшественниками для озимой пшеницы будут те, которые при правильной обработке обеспечивают своевременное появление всходов и их хорошее развитие до ухода в зиму (Рулева и Семинченко, 2019).

Урожайность озимой пшеницы определяется состоянием агрофитоценоза и зависит от комплекса хозяйственно-биологических свойств конкретного сорта, включая показатель его продуктивности (Маслова и др., 2021).

Поэтому целью наших исследований является анализ влияния структурных элементов урожайности на продуктивность сортов озимой мягкой пшеницы селекции

ФГБНУ «АНЦ «Донской» по предшественнику подсолнечник в южной зоне Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Исследования были проведены на полях АНЦ «Донской» в 2022–2024 годах. В опыте по предшественнику подсолнечник изучили 13 сортов озимой мягкой пшеницы, созданных в лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа. Дон 107 использовали как стандартный сорт. Сеялкой Wintersteiger Plotseed S обычным рядовым способом производили сев на глубину 4–6 см с нормой высева 500 всхожих зерен на квадратный метр. Учетная площадь делянок 10 м², повторность трехкратная, размещение систематическое. Уборку выполняли комбайнами Wintersteiger Classic. Закладку опытов проводили в соответствии с установленной методикой полевых исследований (Доспехов, 2014).

Все данные, собранные в рамках проведенных исследований, были обработаны с помощью программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel и программного пакета для статистического анализа Statistica 10.

В период проведения исследований (2022–2024 гг.) погодные условия отличались засушливостью по сравнению с многолетними средними значениями, характерными для озимой мягкой пшеницы. В 2022 и 2024 с.-х. годах наблюдались продолжительные периоды недостатка влаги в критические фазы роста, а также месяцы с избыточным увлажнением, которые не способствовали формированию максимальных урожаев. В связи с этим ГТК за период вегетации по годам составил 0,71, 0,90 и 0,68.

Результаты и их обсуждение. Урожайность является главным критерием для определения продуктивности сорта. Использование потенциала местных сортов способствует

увеличению урожайности озимой пшеницы (Кишин и др., 2024).

В 2022 г. урожайность сортов варьировала от 6,00 т/га у сорта Подарок Крыму до 7,46 т/га у сорта Аксай. Урожайность стандартного сорта Дон 107 составила 6,05 т/га.

Четыре сорта показали статистически значимое превышение признака по сравнению со стандартом ($HCP_{05} = \pm 0,58$ т/га): Донец (+0,69 т/га), Премьера (+0,76 т/га), Регион 161 (+0,78 т/га) и Аксай (+0,96 т/га).

В 2023 г. средняя урожайность составила 6,8 т/га, когда у стандарта Дон 107 этот пока-

затель был равен 6,09 т/га. Достоверно превысили стандарт ($HCP_{05} = \pm 1,02$ т/га) сорта Донец (+1,06 т/га), Флагман (+1,47 т/га), Премьера (+1,74 т/га), Вольный Дон (+1,79 т/га).

Урожайность озимой мягкой пшеницы в 2024 г. оказалась меньше, чем в предыдущие годы. Колебание признака между сортами варьировало в пределах от 5,66 (Вольница) до 7,32 (Донец) т/га, превысивших стандарт по урожайности сортов выделено не было. Урожайность стандартного сорта Дон 107 составила 6,58 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник, т/га (2022–2024гг.)
Table 1. Productivity of winter common wheat varieties according to the forecrop 'sunflower', t/ha (2022–2024)

Сорт	Годы						Среднее	± к стандарту
	2022		2023		2024			
	Урожай- ность	± к стан- дарту	Урожай- ность	± к стан- дарту	Урожай- ность	± к стан- дарту		
Дон 107, st	6,50	—	6,09	—	6,58	—	6,39	—
Вольница	6,22	-0,28	6,01	-0,08	5,66	-0,92	5,96	-0,43
Жаворонок	6,72	0,22	6,35	0,26	6,36	-0,22	6,48	0,09
Подарок Крыму	6,00	-0,41	6,38	0,29	5,93	-0,65	6,10	0,26
Полина	6,21	-0,29	6,74	0,65	6,03	-0,55	6,33	-0,06
Амбар	6,72	0,22	7,10	1,01	6,25	-0,33	6,69	0,30
Премьера	7,26	0,76	7,83	1,74	6,16	-0,42	7,08	0,69
Аюта	6,92	0,42	6,43	0,34	7,16	0,58	6,84	0,45
Донец	7,19	0,69	7,15	1,06	7,32	0,74	7,22	0,83
Регион 161	7,28	0,78	6,36	0,27	6,27	-0,31	6,64	0,25
Вольный Дон	6,67	0,17	7,88	1,79	6,98	0,40	7,18	0,79
Аксай	7,46	0,96	6,06	-0,03	6,89	0,31	6,80	0,41
Флагман	6,58	0,08	7,56	1,47	6,92	0,34	7,02	0,63
Среднее	6,75	—	6,80	—	6,5	—	—	—
НСР ₀₅	0,58	—	1,02	—	0,94	—	0,61	—

В среднем за три года урожайность сортов изменялась от 5,96 т/га у сорта Вольница до 7,22 т/га у сорта Донец. Наибольшая продуктивность отмечена у четырех сортов ($HCP_{05} = \pm 0,61$ т/га): Флагман (7,02 т/га), Премьера (7,08 т/га), Вольный Дон (7,18 т/га), Донец (7,22 т/га).

Многолетними исследованиями структуры урожайности сортов озимой пшеницы установлено, что решающими факторами высокого урожая являются количество продуктивных стеблей и масса зерна с колоса (Сандухадзе и др., 2021).

Среднее количество продуктивных стеблей у сортов озимой мягкой пшеницы изменялось от 520 шт./м² у сорта Вольница до 615 шт./м² у сорта Донец. У стандартного сорта Дон 107 оно составило 574 шт./м² (рис. 1).

По данному признаку превысили стандарт два сорта: Аюта (597 шт./м²) и Донец (615 шт./м²); превышение составило ($HCP_{05} = \pm 21$ шт./м²) 23 и 41 шт./м² соответственно.

Коэффициент вариации «Cv» по количеству продуктивных стеблей по сортам изменялся от 7,0 до 15,0 %, что говорит о слабой и средней степени изменчивости.

Масса зерна с колоса проявляет высокую фенотипическую вариабельность. Межсортная вариабельность данного показателя в среднем за три года изменялась в пределах 7–24 %, что говорит о слабой, средней и сильной степени изменчивости. Слабая степень отмечена у сортов (<10 %) Жаворонок (7 %) и Подарок Крыму (8 %). Сильная степень у сортов (> 20 %) Премьера (22 %) и Полина (24 %). Большая часть сортов соответствовала средней степени изменчивости (рис. 2).

Масса зерна с колоса в 2022–2024 гг. у сортов озимой мягкой пшеницы находилась в пределах от 1,20 г (стандарт Дон 107) до 1,32 г (Аюта). Шесть сортов по данному признаку дали высокие показатели (более 1,26 г): Вольница, Флагман (1,27 г), Амбар, Вольный Дон (по 1,29 г), Донец (1,31 г) и Аюта (1,32 г).

Длина колоса – это один из признаков, определяющий потенциальные возможности продуктивности колоса. Данный признак в значительной степени обуславливает число колосков, зерен и массу зерна с колоса (Войцукская, 2020).

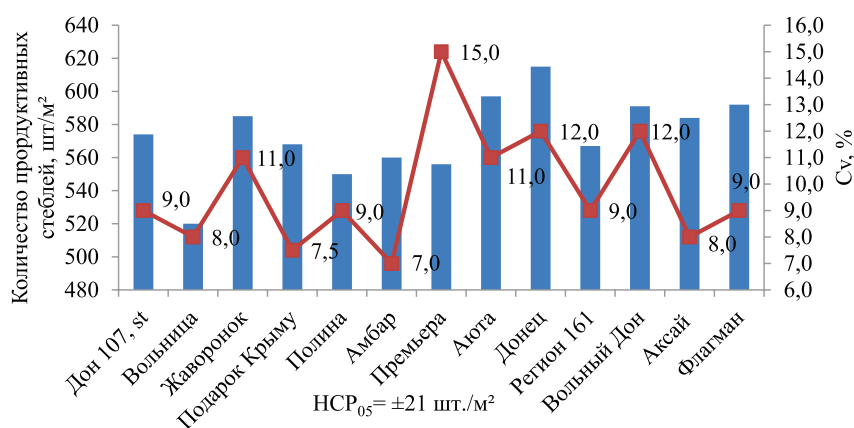


Рис. 1. Количество продуктивных стеблей сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник (2022–2024 гг.)

Fig. 1. Number of productive stems of winter common wheat varieties according to the forecrop 'sunflower' (2022–2024)

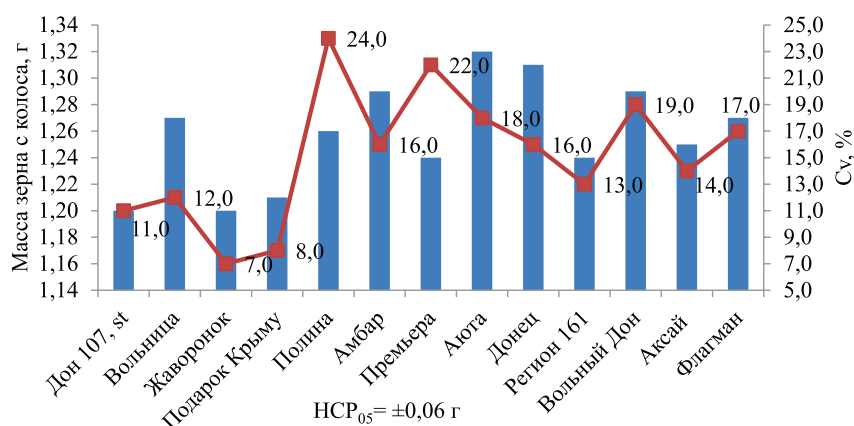


Рис. 2. Масса зерна с колоса сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник (2022–2024 гг.)

Fig. 2. Grain weight per head of winter common wheat varieties according to the forecrop 'sunflower' (2022–2024)

Длина колоса в среднем за годы изучения варьировала от 8,1 см у стандартного сорта Дон 107 до 10,3 см у сорта Премьера.

По длине колоса сорта были классифицированы на две группы по длине колоса.

Среднеколосые (8–10 см): Дон 107, Жаворонок, Подарок Крыму, Полина, Амбар, Аюта, Регион 161, Аксай, Флагман. Длинноколосые (>10 см): Вольница, Вольный Дон, Премьера, Донец (табл. 2).

Таблица 2. Элементы структуры колоса сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник (2022–2024 гг.)

Table 2. Elements of ear structure of winter common wheat varieties according to the forecrop 'sunflower' (2022–2024)

Сорт	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колосе, шт.
Дон 107, st	8,1	17,2	28,1
Вольница	10,2	20,3	30,1
Жаворонок	9,5	18,5	33,1
Подарок Крыму	8,0	18,8	33,0
Полина	9,0	20,1	31,8
Амбар	9,2	22,8	30,8
Премьера	10,3	22,0	30,6
Аюта	8,2	21,3	32,7
Донец	10,3	20,3	35,2
Регион 161	8,3	18,2	29,5
Вольный Дон	10,1	19,3	31,2
Аксай	9,5	18,9	28,8
Флагман	9,8	19,1	29,8
Cv	9,8	8,1	6,5
НСР ₀₅	0,9	1,7	3,7

Число колосков в колосе является сравнительно менее изменчивым признаком, коэффициент вариации 8,1 %. У испытываемых сортов признак изменялся от 17,2 шт. (у стандартного сорта Дон 107) до 22,8 шт. (у сорта Амбар). Большинство сортов показали максимальные значения по числу колосков в колосе, которые превышали стандарт на 1,9–5,6 шт.

Число зерен в колосе проявляет слабую внутрисортную вариабельность, C_v 6,5 %. По нашим данным, пределы изменчивости числа зерен в колосе у образцов озимой мягкой пшеницы составили от 28,1 шт. у стандартного сорта Дон 107 до 35,2 шт. у сорта Донец.

Наибольшее число зерен в колосе сформировали сорта Аюта (32,7 шт.), Подарок Крыму (33,0 шт.), Жаворонок (33,1 шт.), Донец (35,2 шт.).

Завершающим этапом формирования урожая является образование зерна. На крупность зерна и его выполненность большое влияние оказывают сортовые особенности и условия его формирования (Стасюк и др., 2021).

Ключевым показателем в повышении продуктивности колоса является масса 1000 зерен (Левакова и Жаркова, 2022). Значение признака изменялось от 35 г у сорта Амбар до 45,0 г у сорта Донец, у стандарта Дон 107 – 37 г (рис. 3).

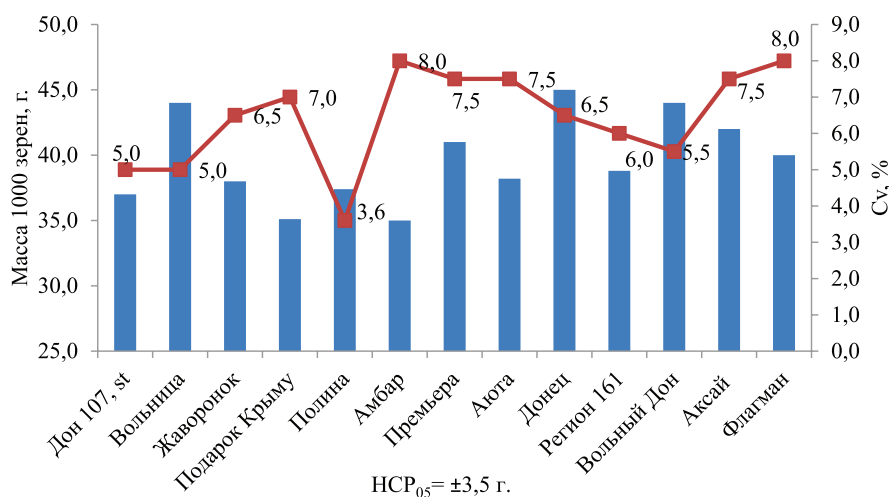


Рис. 3. Масса 1000 зерен сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник (2022–2024 гг.)
Fig. 3. 1000-grain weight of winter common wheat varieties according to the forecrop 'sunflower' (2022–2024)

Крупное зерно было сформировано следующими сортами: Премьера (41,0 г), Аксай (42,0 г), Вольница и Вольный Дон (по 44,0 г), Донец (45,0 г). Коэффициент вариации по сортам колебался от 3,6–8,0%.

В результате корреляционного анализа, приведенного в таблице 3, было установлено, что урожайность имеет сильную положитель-

ную связь с количеством продуктивных стеблей ($r = 0,71 \pm 0,24$); положительные средние связи с длиной колоса ($r = 0,47 \pm 0,25$), массой зерна с колоса ($r = 0,51 \pm 0,24$), массой 1000 зерен ($r = 0,44 \pm 0,26$); положительные слабые связи с числом колосков в колосе ($r = 0,26 \pm 0,27$) и числом зерен в колосе ($r = 0,16 \pm 0,25$).

Таблица 3. Корреляционные взаимосвязи между урожайностью и ее элементами структуры у сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник (2022–2024 гг.)
Table 3. Correlation between yield and its structure elements of winter common wheat varieties according to the forecrop 'sunflower' (2022–2024)

	Урожайность, т/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Урожайность, т/га	—	—	—	—	—	—	—
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	0,71*	—	—	—	—	—	—
Длина колоса, см	0,47*	0,01	—	—	—	—	—
Число колосков в колосе, шт.	0,26	-0,19	0,36	—	—	—	—
Число зерен в колосе, шт.	0,16	0,40	0,10	0,29	—	—	—
Масса зерна с колоса, г	0,51*	0,28	0,36	0,62*	0,32	—	—
Масса 1000 зерен, г	0,44*	0,17	0,78*	0,02	0,08	0,42	—

Примечание.*— достоверно при $p < 0,05$.

Сильная положительная связь отмечена между следующими структурными элементами – массой 1000 зерен и длиной колоса ($r = 0,78 \pm 0,20$). Длина колоса имеет среднюю положительную связь с числом колосков в колосе ($r = 0,36 \pm 0,23$) и массой зерна с колоса ($r = 0,36 \pm 0,23$); масса зерна с колоса – с числом колосков в колосе ($r = 0,62 \pm 0,23$); количество продуктивных стеблей – с числом зерен в колосе ($r = 0,40 \pm 0,22$); число зерен в колосе – с массой зерна с колоса ($r = 0,32 \pm 0,23$); масса 1000 зерен – с массой зерна с колоса ($r = 0,42 \pm 0,23$). Слабая положительная связь отмечена между количеством продуктивных стеблей и массой зерна с колоса ($r = 0,28 \pm 0,21$) и массой 1000 зерен ($r = 0,17 \pm 0,19$).

Выводы. В среднем за три года урожайность сортов изменялась от 5,96 т/га у сорта Вольница до 7,22 т/га у сорта Донец. Четыре сорта показали результаты, превышающие стан-

дарт: Флагман (7,02 т/га), Премьера (7,08 т/га), Вольный Дон (7,18 т/га) и Донец (7,22 т/га).

Урожайность озимой пшеницы в опыте по предшественнику подсолнечник в основном складывалась за счет количества продуктивных стеблей ($r = 0,71 \pm 0,24$), массы зерна с колоса ($r = 0,51 \pm 0,24$), массы 1000 зерен ($r = 0,44 \pm 0,26$). Остальные структурные элементы в меньшей степени влияли на продуктивность новых сортов.

Особый интерес благодаря высокой урожайности на протяжении нескольких лет вызывают сорта Премьера, Донец, Вольный Дон и Флагман, использование которых позволит повысить валовый сбор зерна при возделывании по жесткому предшественнику подсолнечник.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № 0505-2025-0006.

Библиографический список

1. Войцукская Н. П. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции озимой мягкой пшеницы в степной зоне Краснодарского края // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4(36). С. 106–116. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11212
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 2014. 351 с.
3. Киринов А. В., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Зеленская Г. М. Формирование урожайности и элементов структуры сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох в условиях ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-33-39
4. Левакова О. В., Жаркова Е. Д. Влияние массы 1000 зерен на урожайность и качество зерна озимой пшеницы разных групп спелости в Рязанской области // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 3. С. 22–25. DOI: 10.30850/vrsn/2022/3/22-25
5. Маслова Г. Я., Шарапов И. И., Шарапова Ю. А. Урожайность и элементы структуры урожая сортов озимой пшеницы конкурсного сортоиспытания в условиях Самарской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2(62). С. 240–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-25
6. Некрасов Е. И., Марченко Д. М., Рыбась И. А., Иванисов М. М., Гричаникова Т. А., Романюкина И. В. Изучение урожайности и элементов ее структуры у сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику подсолнечник // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6(60). С. 46–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-46-49
7. Рулева О. В., Семинченко Е. В. Влияние предшественников на формирование элементов продуктивности озимой пшеницы в условиях нижнего Поволжья // Аграрная наука. 2019. № 4. С. 68–72. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-324-4-68-72
8. Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы, элементы ее структуры и адаптивные свойства в условиях Нечерноземной зоны // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 3. С. 17–22. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-17-22
9. Стасюк А. И., Леонова И. Н., Пономарева М. Л., Василова Н. З., Шаманин В. П., Салина Е. А. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.78rus

References

1. Voitsutskaya N. P. Istochniki khozyaistvennotsennykh priznakov dlya selektsii ozimoi myagkoi pshenitsy v stepnoi zone Krasnodarskogo kraia [Sources of economically valuable traits for breeding winter common wheat in the steppe area of Krasnodar Krai] // Zernobobovye i krupyanyekul'tury. 2020. № 4(36). S. 106–116. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11212
2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-e, pererab.idop. M.: Al'yans, 2014. 2014. 351 s.
3. Kirin A. V., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Rybas' I. A., Zelenskaya G. M. Formirovanie urozhainosti i elementov struktury sortov ozimoi myagkoi pshenitsy po predshestvenniku gorokh v usloviyakh FGBNU «ANTs «Donskoi» [Formation of productivity and yield structure elements of winter common wheat varieties sown after peas in the conditions of the FSBSI «ARC «Donskoy»] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 3. S. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-33-39
4. Levakova O. V., Zharkova E. D. Vliyanie massy 1000 zeren naurozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy raznykh grupp spelosti v Ryazanskoi oblasti [The effect of 1000-grain weight on productivity and grain quality of winter wheat of different maturity groups in the Ryazan region] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2022. № 3. S. 22–25. DOI: 10.30850/vrsn/2022/3/22-25

5. Maslova G. Ya., Sharapov I. I., Sharapova Yu. A. Urozhainost' i elementy struktury urozhaya sortov ozimoi pshenitsy konkursnogo sortoispytaniya v usloviyakh Samarskoi oblasti [Productivity and yield structure elements of winter wheat varieties in the competitive variety testing in the Samara region] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2021. № 2(62). S. 240–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-25

6. Nekrasov E. I., Marchenko D. M., Rybas' I. A., Ivanisov M. M., Grichanikova T. A., Romanyukina I. V. Izuchenie urozhainosti i elementoveestrukturnykh u sortov ozimoi myagkoi pshenitsy po predshestvenniku podsolnechnik [Study of productivity and yield structure elements of winter common wheat varieties sown after sunflower] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6(60). S. 46–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-46-49

7. Ruleva O. V., Semichenko E. V. Vliyanie predshestvennikov na formirovaniye elementov produktivnosti ozimoi pshenitsy v usloviyakh nizhnego Povolzh'ya [The effect of forecrops on the formation of yield elements of winter wheat in the lower Volga region] // Agrarnayanauka. 2019. № 4. S. 68–72. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-324-4-68-72

8. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Urozhainost' sortov ozimoi myagkoi pshenitsy, elementy ee struktury i adaptivnye svoystva v usloviyakh Nechernozemnoi zony [Productivity of winter common wheat varieties, yield structure elements and adaptive properties in the conditions of the non-blackearth area] // Zernobobovye i krupyanyekul'tury. 2021. № 3. S. 17–22. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-17-22

9. Stasyuk A. I., Leonova I. N., Ponomareva M. L., Vasilova N. Z., Shamanin V. P., Salina E. A. Fenotipicheskaya izmenchivost' selektsionnykh linii myagkoi pshenitsy (*Triticumaestivum* L.) po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoi Sibiri i Tatarstana [Phenotypic variability of breeding lines of common wheat (*Triticumaestivum* L.) according to yield structure elements in the ecological conditions of Western Siberia and Tatarstan] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2021. T. 56, № 1. S. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiologiya.2021.1.78rus

Поступила: 13.01.25; доработана после рецензирования: 26.01.25; принята к публикации: 27.01.25.

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. Кирин А. В. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Марченко Д. М. – концептуализация исследований; Иванисов М. М. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов; Рыбась И. А. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация; Зеленская Г. М. – концептуализация исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ БИОУДОБРЕНИЯ НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Д. Г. Федорова, кандидат биологических наук, директор ботанического сада, старший научный сотрудник научно-образовательного центра «Биологические системы и нанотехнологии», DaryaOrlova24@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-5323-4965;
Л. В. Галактионова, кандидат биологических наук, заведующий кафедрой биологии и почвоведения, ORCID ID: 0000-0003-0781-3752
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, д. 13

Зерновые культуры имеют важное продовольственное значение, урожайность которых во многом зависит от водного режима и ассимиляционной активности растений. Цель исследования – определить влияние биоудобрения на параметры водного режима, пигментного аппарата и газового состава растений зерновых культур. Исследования были проведены в период 2021–2023 гг. на базе стационарного научного полигона ботанического сада Оренбургского государственного университета. Объектами исследования послужили сорт ярового ячменя Анна, сорт пшеницы мягкой яровой Оренбургская юбилейная и сорт пшеницы твердой яровой Оренбургская. При проведении эксперимента использовали биоудобрение, содержащее ферментированные пищевые отходы и измельченные отходы растениеводства с иммобилизованными на их поверхности бактериями *B. Subtilis*. Параметры водного режима исследовали согласно методике Н.Н. Кожушко. Фотометрическую диагностику проводили портативным N-тестером (модель ПРАК 431155.022, производитель ООО «Агротестер», Россия). Содержание CO₂ определяли портативным газоанализатором CI-340 («CI-340 Hand-held Photosynthesis System», производитель CID Bio-Science, США). Статистическую обработку данных выполнили с использованием программы Statistica 10.0. По результатам проведенных исследований авторами отмечена схожая динамика снижения общей оводненности и интенсивности транспирации для исследуемых растений в конце периода вегетации. Установлено увеличение водного дефицита растений зерновых культур в фазе молочной спелости и его достоверное снижение в биомассе яровой пшеницы мягкой и ячменя на вариантах с применением биоудобрения по сравнению с контрольными вариантами. Максимальное значение коэффициента парной корреляции выявлено между параметрами содержания диоксида углерода и интенсивностью транспирации у мягкой пшеницы и ячменя. В отношении азота в листьях обнаружено относительное постоянство показателей у образцов с применением биоудобрения. В противоположность им, у контрольных образцов наблюдалась вариативность данного признака. Отмечается положительное влияние биоудобрений на параметры водного режима объектов исследования, а также интенсификация фотосинтетической активности при использовании данного мелиоранта, что способствовало увеличению урожайности изучаемых зерновых культур – у ячменя на 147,1 %, у пшеницы мягкой на 105,7 %.

Ключевые слова: пшеница мягкая яровая, пшеница твердая яровая, ячмень яровой, водный режим, фотосинтез, биоудобрение.

Для цитирования: Федорова Д. Г., Галактионова Л. В. Влияние биоудобрения на водный режим, интенсивность фотосинтеза и урожайность зерновых культур в условиях Степного Предуралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 89–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-89-97.



THE EFFECT OF BIOFERTILIZER ON WATER REGIME, INTENSITY OF PHOTOSYNTHESIS AND PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS IN THE STEPPE PRE-URALS

D. G. Fedorova, Candidate of Biological Sciences, head of the botanic garden, senior researcher of the scientific and educational center “Biological systems and nanotechnologies”, DaryaOrlova24@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-5323-4965;
L. V. Galaktionova, Candidate of Biological Sciences, head of the department of biology and soil study, ORCID ID: 0000-0003-0781-3752
FSBEI HE “Orenburg State University”,
460018, Orenburg, Pobeda Av., 13

Grain crops are of great food value, productivity of which largely depends on the water regime and assimilation activity of plants. The purpose of the current study was to determine the effect of biofertilizer on the parameters of the water regime, pigment, and gas composition of grain crops. The study was conducted at the stationary research site of the Botanical Garden of Orenburg State University in 2021–2023. The objects of the research were the spring barley variety Anna, the spring common wheat variety Orenburgskaya Yubileinaya and the spring durum wheat variety Orenburgskaya. The experiment was carried out using biofertilizer containing fermented food residues and crushed plant waste with *B. Subtilis* bacteria immobilized on their surface. The water regime parameters were studied according to the method of N.N. Kozhushko. Photometric diagnostics was carried out using a portable N-tester device (model PRAK 431155.022, manufactured by Agrotester LLC, Russia). The CO₂ content was measured with a portable gas analyzer CI-340 (“CI-340 Hand-held Photosynthesis System”, manufactured by CID Bio-Science, USA). Statistical data processing was performed using the program Statistica 10.0. Based on the study results of the studies, there

was found similar dynamics of the decrease in total water content and transpiration intensity for the studied plants at the end of the vegetation period. There has been established a water deficit increase of grain crops in milk stage and its reliable decrease in the biomass of spring common wheat and barley when using biofertilizers in comparison with the control variants. The maximum value of the pair correlation coefficient was established between the parameters of carbon dioxide content and transpiration intensity in common wheat and barley. As for nitrogen in leaves, there has been found a relative constancy of the indices in the samples when using biofertilizer. In contrast, the control samples have shown variability of this trait. There has been identified a positive effect of biofertilizers on the parameters of the water regime of the grain crops, as well as the intensification of photosynthetic activity when using this ameliorant, which improved productivity of the studied grain crops by 147.1 % for barley, and by 105.7 % for common wheat.

Keywords: *spring common wheat, spring durum wheat, spring barley, water regime, photosynthesis, biofertilizer.*

Введение. Зерновые культуры имеют важное продовольственное значение, при возделывании им необходимо создавать оптимальные условия для их роста и развития. Как основной продукт питания, пшеница и ячмень являются одними из важнейших зерновых культур в мире в связи с повсеместным их использованием (Lin et al., 2018).

Урожайность зерна в значительной степени зависит от ассимиляционной активности листьев. При этом содержание хлорофилла, способного поглощать, переносить и преобразовывать световую энергию, является важным физиологическим показателем сельскохозяйственных культур и оказывает непосредственное влияние на напряженность фотосинтеза (Noor et al., 2022). Урожайность зависит от площади зеленых листьев, содержания хлорофилла и скорости и интенсивности фотосинтеза. Таким образом, в полевых условиях увеличение объема урожая связано со способностью растений улавливать солнечное излучение и преобразовывать его в биомассу (Tambussi et al., 2021).

Отсутствие комплекса приемов по воспроизводству почвы снижает способность растений поглощать световое излучение, что отрицательно влияет на эффективность использования фоторесурсов. В то же время параметры хлорофилла являются показателем, отражающим интенсивность фотосинтеза (Janeeshma et al., 2022).

Пшеница – основная зерновая культура, выращиваемая во всем мире, и всего ежегодно собирают более 600 млн т зерна. Это основной продукт питания, обеспечивающий незаменимые аминокислоты, минералы и витамины, а также полезные фитохимические вещества и пищевые волокна в рационе человека (Zhu et al., 2020). Ячмень занимает четвертое место (после пшеницы, риса и кукурузы) по посевам в мировом земледелии. Это ценное фуражное зерно, также из него производят солодовые крупы и лечебные экстракты.

Опасения в отношении продовольственной безопасности, то есть достаточного производства и доступности таких культур, как пшеница и ячмень, возрастают по мере глобального изменения климатических условий и увеличения численности населения (Zhu et al., 2020). Экстремальные климатические явления отражаются на изменении урожайности растений, тем самым являясь непосредственной угрозой для мирового растениеводства. Одним из таких

неблагоприятных погодных явлений, оказывающих лимитирующее воздействие на сельскохозяйственные культуры, является засуха (Lesk et al., 2016; Matiu et al., 2017; Sugiura et al., 2024; Kumar and Sindhu, 2024). В условиях глобального потепления климата частота и продолжительность экстремальных засух увеличиваются быстрее, чем прогнозировалось ранее. Согласно статистике, мировые потери зерновых культур были вызваны засухой и экстремальной жарой с 1964 по 2007 год (Lesk et al., 2016).

Стресс от засухи нарушает клеточный гомеостаз и в целом вызывает ряд морфологических, физиологических и биохимических изменений во всех органах растения (Michaletti et al., 2018), особенно влияя на фотосинтез листьев и транспорт углеводов (Deng et al., 2018). При стрессе от засухи растения обычно закрывают устьица, уменьшая потерю воды при испарении и снижая проводимость углекислого газа устьицами (CO_2). При этом снижается фотосинтетическая ассимиляция углерода, что впоследствии приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур (Zhu et al., 2020).

Кроме того, ремобилизация фотоассимилянтов, накопленных до наступления фазы цветения, из фотосинтетических органов зерновых культур усиливается из-за дефицита воды на стадии колошения, что увеличивает скорость налива зерна, ускоряет старение растений и в конечном итоге приводит к снижению количества и массы зерен (Deng et al., 2018).

При изучении фотосинтеза в литературе отмечается видоспецифичность показателя и его зависимость от внешних факторов среды. Наиболее традиционными показателями интенсивности фотосинтеза являются содержание и продуцирование диоксида углерода, а также содержание азота в листьях. Эта связь обусловлена тем, что большая часть азота листовой пластинки задействована в структуре хлорофилла и биохимических циклах, обеспечивающих продукционный процесс (Duan et al., 2024; Thenppan et al., 2024).

Рост и развитие сельскохозяйственных культур в значительной степени зависят от азота (N_2), важнейшего неорганического питательного вещества для синтеза аминокислот, хлорофилла, нуклеотидов, множества других метаболитов и клеточных компонентов. В сельскохозяйственном производстве доступность азота является ключевым фактором, определяющим урожайность культурных растений, поскольку он играет решающую роль в фо-

тосинтезе. Имеются данные, что способность фотосинтетических органов к фотосинтезу тесно коррелирует с их N-статусом (Zhu et al., 2020). В процессе усвоения N_2 приблизительно 60–80 % азота листьев расходуется на синтез фотосинтетического аппарата, в частности на фермент RuBisCO и световыделяющих комплексов, которые поддерживают светозависимое использование CO_2 , воды и неорганического азота для производства основных строительных блоков, накопления ряда веществ, таких как сахара, органических кислоты и аминокислоты (Makino and Osmond, 1991).

Урожайность сельскохозяйственных культур также тесно связана с чистой фотосинтетической ассимиляцией CO_2 . При этом установлено, что приблизительно 90 % сухого веса растения образуется за счет фотосинтетической ассимиляции углерода. Поэтому использование азотистых удобрений в сельском хозяйстве стало крупным достижением в удовлетворении растущих потребностей в продовольствии за счет увеличения производства и урожайности растений в мире, особенно в развивающихся странах. По статистике, производство зерна увеличилось на более чем 40 и 55 % соответственно в развитых и развивающихся странах.

Оренбургская область относится к числу регионов – важнейших сельхозтоваропроизводителей России. По посевам зерновых культур область занимает 5-е место в стране. При этом она относится к степной зоне с недостаточным атмосферным увлажнением и засушливым летом. Этот регион страдает от засухи как из-за недостаточного количества осадков, так и из-за увеличения частоты засух, вызванных аридизацией климата (Zhu et al., 2020). Для достижения высоких урожаев и экономических выгод в таких климатических условиях требуется глубокое понимание изменений в росте сельскохозяйственных растений, вызванных внесением удобрений в условиях дефицита воды.

Целью исследования являлось определение влияния биоудобрения на параметры водного режима, пигментного аппарата, газового состава листьев и урожайность растений ярового ячменя, твердой и мягкой яровой пшеницы.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в период 2021–2023 гг. на базе стационарного научного полигона ботанического сада Оренбургского государственного университета. Объекты исследования – сорт ярового ячменя Анна, сорт пшеницы мягкой яровой Оренбургская юбилейная и сорт пшеницы твердой яровой Оренбургская.

Были определены пробные площадки (варианты опыта): 1 и 2 – О (образцы с внесением биоудобрения); 3 и 4 – К (контрольные образцы, без внесения биоудобрения), которые располагались на отдельных делянках размером 5×5 м.

При проведении эксперимента использовали биоудобрение, полученное путем ферментирования пищевых отходов с последующим обогащением отходами растениеводства

(шелуха риса, измельченные сено и солома) с предварительно иммобилизованными на их поверхности бактериями *B. subtilis* в концентрации не менее 10^9 КОЕ/г. Пищевые отходы представляли собой предварительно высушенные и измельченные остатки овощей (капуста, морковь и др.) (Патент №2824464). Удобрение вносили путем поверхностного разбрасывания и последующей осенней вспашкой на глубину пахотного слоя с вариантами опыта (доза 20 т/га).

Почва участка исследования представлена черноземом обыкновенным карбонатным среднегумусным среднемощным тяжелосуглинистым на пермских карбонатных глинах (по Классификации почв СССР 1977 г.) или черноземом сегрегационным (по Классификация почв 2004 г.). Перед посевом почва была вспахана и боронована. Посев зерновых культур проводили ручной однорядной сеялкой в прогретую до необходимой температуры (18–20 °C) почву. Заделку семян осуществляли на стандартную глубину – 5–7 см во 2-й декаде мая.

Физиологически активные образцы листьев (3-й или 4-й сверху) с каждого участка были сорваны случайным образом для определения необходимых параметров. Сбор образцов листьев растений осуществляли в фазу колошения, налива и молочной спелости зерна. С каждой пробной площадки собирали по 50 листьев.

Погодные условия в период исследования характеризовались максимальной нестабильностью, что подтверждается значениями ГТК по сезонам вегетации – от 0,3 до 0,8, то есть климатические условия варьировали от характерных для очень сухой зоны до недостаточного увлажнения (рис. 1).

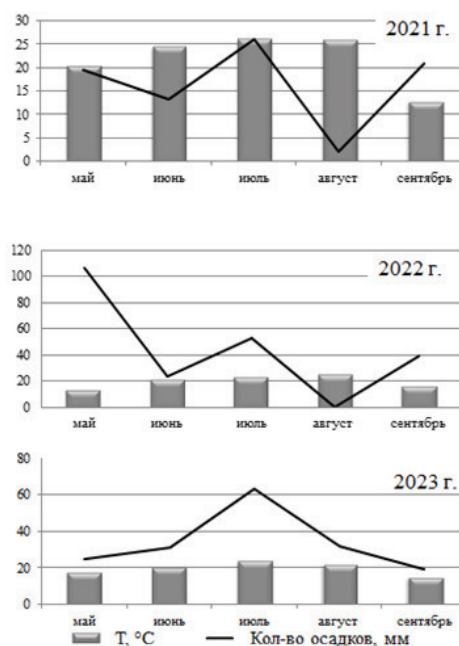


Рис. 1. Температурный режим и количество осадков по годам исследования

Fig. 1. Temperature regime and amount of precipitation during the years of study

Параметры водного режима исследовали согласно методике Н.Н. Кожушко (Кожушко, 1988).

Фотометрическую диагностику проводили портативным прибором N-тестер (производитель ООО «Агротестер», Россия), который показывает содержание азота (в ед.) в хлорофилле растений. Содержание CO_2 определяли портативным газоанализатором CI-340 (производитель CID Bio-Science, США).

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Statistica 10.0.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования показали лабильность климатических показателей, что выразилось в нестабильности растительных параметров по годам исследования, поэтому в работе приведены усредненные за весь период наблюдений данные.

В оптимальных условиях произрастания водный режим растений поддерживается

за счет уравнивания между процессами транспирации (испарение листьями) и водопоглощения корнями. При дисбалансе данных процессов у растений наблюдается водный дефицит, чаще всего спровоцированный засушливыми условиями. В таких условиях наблюдается активизация защитных механизмов в растительном организме: уменьшается диаметр устьичной щели и повышается водоудерживающая способность.

Анализ показателей водного дефицита (ВД) выявил разницу по этому параметру среди исследуемых объектов (табл. 1). У растений мягкой пшеницы прослеживалось увеличение водного дефицита на фоне снижения оводненности листьев. При этом у растений на вариантах с применением удобрений этот показатель значительно меньше, чем на контрольных вариантах, что установлено для всех изученных фаз вегетации.

Таблица 1. Показатели водного режима зерновых культур по фазам вегетации (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 1. Water regime of grain crops according to vegetation periods (mean in 2021–2023)

Показатель водного режима	Вариант опыта	Фаза вегетационного развития		
		Колошение	Цветение	Молочая спелость
Пшеница мягкая				
ОВ, %	О	81,0±3,6	75,1±5,8	65,2±3,0
	К	73,4±4,0	69,4±7,2	50,8±5,8
ВД, %	О	7,4±0,8	8,5±1,0	10,7±1,0
	К	10,5±2,1	12,6±1,5	20,8±3,0
ВС, %	О	43,4±3,0	58,0±7,2	49,2±3,0
	К	35,7±5,4	30,0±4,1	33,4±7,2
ИТ, г/м²*ч	О	49,7±1,5	43,7±2,2	39,4±2,4
	К	59,3±10,3	49,3±13,3	51,3±9,7
Пшеница твердая				
ОВ, %	О	75,4±3,2	70,1±2,0	50,3±2,0
	К	70,2±7,8	65,7±10,0	44,8±3,0
ВД, %	О	10,0±2,0	11,3±2,0	16,8±1,2
	К	11,2±0,9	14,8±1,0	17,1±1,0
ВС, %	О	35,8±3,0	42,0±7,0	25,4±3,0
	К	34,4±0,7	41,0±4,3	26,8±2,0
ИТ, г/м²*ч	О	35,1±2,0	30,2±1,5	31,3±3,0
	К	39,4±1,5	32,1±7,4	35,8±2,6
Ячмень				
ОВ, %	О	84,7±3,1	71,5±2,2	70,8±5,0
	К	80,4±4,5	70,2±2,4	68,9±6,4
ВД, %	О	5,2±0,8	12,3±1,0	20,1±3,3
	К	10,4±1,7	12,8±1,1	25,2±2,5
ВС, %	О	47,8±4,1	34,6±0,9	21,3±1,5
	К	40,3±3,4	33,4±1,5	18,4±0,9
ИТ, г/м²*ч	О	43,1±6,6	45,7±0,7	39,1±5,2
	К	44,5±3,5	46,4±3,5	40,3±6,7

Примечание. ОВ – общая оводненность, ВД – водный дефицит, ВС – водоудерживающая способность, ИТ – интенсивность транспирации, О – образцы с внесением мелиоранта, К – контрольные образцы, без внесения мелиоранта.

Водоудерживающая способность также повышалась у образцов пшеницы мягкой на удобренных площадках, и в фазу цветения данный показатель практически в два раза превышал контроль и составлял 58 %. Интенсивность транспирации у данной культуры закономерно

снижалась при возрастании ВД. На вариантах с внесением биоудобрения наблюдалось снижение интенсивности транспирации к концу периода вегетации, а на контрольных вариантах в фазу молочной спелости отмечено увеличение данного параметра, что влечет за собой

снижение (на 20 %) оводненности листьев с высокой корреляционной зависимостью ($r = 0,86$, при $p < 0,05$) между этими показателями.

Максимальный дефицит воды у растений твердой пшеницы наблюдался в фазу молочной спелости у образцов на контроле. По показателю общей оводненности у образцов на удобренных площадках во все фазы вегетации наблюдалось незначительное превышение значений контрольных вариантов – на 4,4–5,5 %. На значение остальных показателей водного режима внесение биоудобрения не имело статистически достоверного влияния.

Анализ содержания воды в листьях растений ячменя показал, что при использовании биоудобрения этот параметр изменялся в интервале от 84,7 до 70,8 % по фазам вегетации, при этом чем взрослее растение, тем больше его снижение. У образцов на контрольных вариантах отмечена схожая тенденция, но значения общей оводненности ниже, и варьировали в пределах от 68,9 до 80,4 %. Показатель водного дефицита на удобренных вариантах показал значения, превышающие значения контрольных вариантов с разницей более 5 % в фазе колошения и молочной спелости. Наибольшая разница водоудерживающей способности у ячменя также наблюдалась в фазу колошения и составляла 7,5 %. Интенсивность транспирации не имела значимых отличий по вариантам опыта.

Анализ полученных данных по интенсивности транспирации выявил у всех объектов исследования снижение показателя в фазу цветения, однако при внесении биоудобрения показатели оказались ниже, что мы связыва-

ем с большей адаптацией опытных растений к условиям стресса в данную фенологическую фазу. При нехватке воды в почве увеличивались водоудерживающая способность и, соответственно, содержание связанной воды с осмотическими соединениями, накапливающимися в клетках. Согласно мнению авторов, у сортов с более высокой степенью устойчивости по мере увеличения засухи усиливается способность удерживать воду в клетках растений (Makino and Osmond, 1991). При этом у образцов пшеницы мягкой и ячменя на удобренных вариантах значения водоудерживающей способности (BC) значительно увеличивались по сравнению с контролем, а максимальная разница достигала 28 % у пшеницы и 7 % у ячменя. У твердой пшеницы отличия были незначительны.

Повышение в допустимых пределах содержания диоксида углерода в растении свидетельствует об увеличении скорости фотосинтеза. В свою очередь, скорость фотосинтеза и зависимое от нее перераспределение фотосинтатов, накопленных в различных тканях растения в течение дня и/или во время вегетативного роста, имеют решающее значение для развития зерна, а затем и для его налива.

Показатель содержания углекислого газа в образцах листьев яровой пшеницы мягкой на вариантах с применением мелиоранта варьировал в течение периода вегетации от 244,82 до 303,13 ммоль/моль с минимальным значением (244,82 ммоль/моль) в фазе цветения (рис. 2).

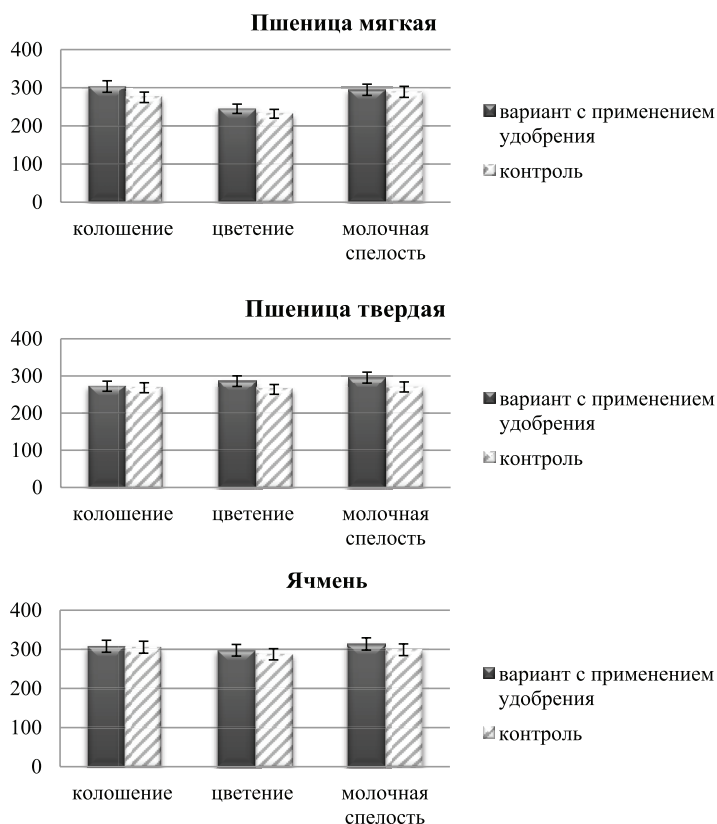


Рис. 2. Концентрация диоксида углерода в листьях растений, ммоль/моль (среднее за 2021–2023 гг.)

Fig. 2. Carbon dioxide concentration in plant leaves, mmol/mol (mean in 2021–2023)

Аналогичная сезонная динамика была отмечена и для ярового ячменя. При этом в фазу колошения отличия по вариантам опыта были недостоверны, а в фазы цветения и молочной спелости разница между вариантами опыта составляла от 10 до 15 ммоль/моль. За весь период исследований концентрация двуокиси углерода в образцах растений в фазе цветения снижалась относительно аналогичных показателей в фазы колошения и молочной спелости у растений пшеницы мягкой и ячменя обоих вариантов опыта, а также у растений пшеницы твердой на контрольном варианте. Содержание углекислого газа в листьях пшеницы твердой на удобренных вариантах характеризовалось устойчивым ростом в течение периода вегетации от 272,4 до 295,5 ммоль/моль.

При установленных колебаниях водного режима и концентраций диоксида углерода в наших опытах было отмечено относительное постоянство содержания азота у растений на удобренных вариантах по показаниям N-тестера (табл. 2). При этом вариативность значений в большей степени отмечена у растений контрольных вариантов, на что указывает коэффициент вариации, рассчитанный для периода исследования. Так, растения пшеницы твердой показывают на контроле наибольший данный коэффициент – 25 %. У остальных объектов опыта этот показатель хотя и меньше, но вдвое превышает значения образцов, выращенных при использовании биоудобрения. При этом показатели вариативности на вариантах с внесением биоудобрения оказались незначительными и не превышали 10 %.

Таблица 2. Содержание азота в листьях (по результатам определения N-тестером), среднее за 2021–2023 гг.

Table 2. Nitrogen content in leaves (measured by the N-tester), mean in 2021–2023

Объект исследований	Вариант опыта	Фаза вегетационного развития						Коэффициент вариации, %
		Колошение, ед.	НСР ₀₅	Цветение, ед.	НСР ₀₅	Молочная спелость, ед.	НСР ₀₅	
Пшеница мягкая	К	536,0±25,1	7,9	515,0±13,1	3,4	543,3±22,4	18,1	13,4
	О	605,4±15,8		598,4±13,1		595,2±10,2		5,7
Пшеница твердая	К	545,3±9,3	5,5	500,3±10,4	25,4	510,2±8,0	15,3	25,0
	О	540,3±17,8		539,4±10,5		534,3±7,8		9,2
Ячмень	К	603,2±22,4	8,7	615,4±23,4	10,6	625,3±9,8	5,6	15,6
	О	630,3±13,2		631,2±15,8		635,7±19,1		8,2

Примечание. К – контрольные образцы без внесения мелиоранта; О – образцы с внесением мелиоранта.

Максимальное значение коэффициентов парной корреляции было установлено между параметрами содержания CO₂ в листьях и интенсивностью транспирации у пшеницы мягкой ($r = 0,91$ при $p < 0,05$) и ячменя ($r = 0,89$ при $p < 0,05$) (табл. 3). При анализе параметров водного режима установлена достоверная зависимость у растений изучаемых сельскохозяйственных культур между показателями общей оводненности и водного дефицита при доста-

точно высоких коэффициентах корреляции – от 0,86 до 0,95. Взаимозависимость установлена и между водоудерживающей способностью и интенсивностью транспирации, при этом максимум отмечен для образцов пшеницы мягкой ($r = 0,88$, при $p < 0,05$). Обратной статистической зависимостью связаны параметры водоудерживающей способности и водного дефицита (при $r =$ от -0,71 до -0,80, при $p < 0,05$).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции показателей водного режима растений на вариантах с применением биоудобрения (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 3. Correlation coefficients of plant water regime in variants with the use of biofertilizer (mean in 2021–2023)

Показатели водного режима	ОВ	ВД	ВС	ИТ	CO ₂
Пшеница мягкая					
ОВ	1				
ВД	0,95	1			
ВС	0,35	-0,71	1		
ИТ	0,47	0,69	0,88	1	
CO ₂	0,35	0,005	0,17	0,91	1
Пшеница твердая					
ОВ	1				
ВД	0,86	1			
ВС	0,15	-0,75	1		
ИТ	0,22	0,02	0,79	1	
CO ₂	0,44	0,03	0,004	0,52	1
Ячмень					
ОВ	1				
ВД	0,91	1			
ВС	0,05	-0,80	1		
ИТ	0,33	0,19	0,80	1	
CO ₂	0,27	0,01	0,22	0,89	1

При использовании исследуемого мелиоранта отмечено увеличение урожайности по сравнению с контрольными вариантами (табл. 4). Максимальные различия характерны

для ячменя ярового, где урожайность растений под действием биоудобрения в 2,4 раза превышает показатели контроля.

Таблица 4. Показатели урожайности исследуемых культур (среднее за 2021–2023 гг.)
Table 4. Productivity indicators of the studied crops (mean in 2021–2023)

Культура	Количество зерен в колосе, шт.	Длина колоса, см	Вес 1000 семян, г	Урожайность, ц/га	НСР ₀₅
Пшеница мягкая (с применением биоудобрения)	32,7±1,3	4,39±0,12	32,36±1,6	42,07±5,54	11,7
Пшеница мягкая (контроль)	29,27±2,8	3,92±0,3	25,95±3,3	20,65±2,4	
Пшеница твердая (с применением биоудобрения)	32,16±1,3	3,93±0,1	45,3±0,9	47,7±3,8	3,1
Пшеница твердая (контроль)	30,2±1,9	3,9±0,2	44,2±0,4	44,0±12,5	
Ячмень (с применением биоудобрения)	14,26±0,5	5,52±0,2	44,5±0,7	41,6±3,4	14,8
Ячмень (контроль)	15,1±0,5	5,8±0,2	50,6±0,8	17,1±3,1	

Рассчитав статистический критерий Стьюдента (распределение нормальное по критерию Шапиро–Уилка, выборка однородная) нами получены значения: для пшеницы твердой $p = 0,07$, для пшеницы мягкой $p = 0,004$, для ячменя $p = 0,003$. Это позволяет констатировать, что для культуры ячменя и пшеницы мягкой характерна статистически достоверная зависимость урожайности от используемого в опыте биоудобрения, у пшеницы твердой этой зависимости не обнаружено.

Выводы. Анализ полученных результатов выявил схожую для культур пшеницы и ячменя динамику снижения оводненности листьев, а также индекса транспирации к концу периода вегетации.

В ходе исследования отмечено увеличение водного дефицита растений зерновых культур в фазе молочной спелости и его достоверное снижение в биомассе яровой пшеницы мягкой и ячменя на вариантах с внесением мелиоранта по сравнению с контрольными вариантами.

Об увеличении интенсивности процесса фотосинтеза под влиянием внесения биоудобрения свидетельствует рост показателей со-

держания углекислоты в растениях яровой пшеницы твердой и ячменя в фазы цветения и молочной спелости.

Показатели содержания азота в хлорофилле зерновых культур показывают относительное постоянство в показателях на протяжении всего периода вегетации на вариантах с применением мелиоранта.

Таким образом, нами установлено, что внесение исследуемого биоудобрения снижает водный дефицит растений и способствует интенсификации процессов фотосинтеза, что в конечном итоге оказывает положительный эффект и повышает урожайность зерновых культур. Увеличение урожайности при использовании мелиоративного приема по сравнению с контролем в результате полевого опыта составило у ячменя 147,1 %, у пшеницы мягкой – 105,7 %. У пшеницы твердой разница опыта от контроля равна 8 %, однако зависимость этого показателя от используемого биоудобрения у данной культуры недостоверна.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10079.

Библиографический список

1. Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство) / под ред. Г. В. Удовенко. Л., 1988. ВИР. 49 с.
2. Патент № 2824464 С1 Российская Федерация, МПК C05F 11/08, C05F 9/04. Биоорганическое удобрение: № 2023133113: заявл. 14.12.2023: опубл. 08.08.2024 / Л. В. Галактионова, Н. А. Терехова, Д. Г. Федорова и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет».
3. Deng X., Liu Y., Xu X. X., Liu D. M., Zhu G. R., Yan X., Wang Z. M., Yan Y. M. Deng X. et al. Comparative proteome analysis of wheat flag leaves and developing grains under water deficit // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9, Article number: 425. DOI: 10.3389/fpls.2018.00425
4. Duan W., Wang S., Zhang H., Xie B., Zhang L. Plant growth and nitrate absorption and assimilation of two sweet potato cultivars with different N tolerances in response to nitrate supply // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14(1), Article number: 21286. DOI: 10.1038/s41598-024-72422-y
5. Janeeshma E., Johnson R., Amritha M. S., Noble L., Aswathi K. P. R., Telesiński A., Kalaji H. M., Auriga A., Puthur J. T. Modulations in Chlorophyll a Fluorescence Based on Intensity and Spectral Variations of Light // *Journal of Experimental Botany*. 2022. Vol. 23(10), Article number: 5599. DOI: 10.3390/jjms23105599
6. Kumar S., Sindhu S. S. Drought stress mitigation through bioengineering of microbes and crop varieties for sustainable agriculture and food security // *Current Research in Microbial Sciences*. 2024. Vol. 10(7), Article number: 100285. DOI: 10.1016/j.crmicr.2024.100285

7. Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production // *Nature*. 2016. Vol. 529, Article number: 7584. P. 84–87. DOI: 10.1038/nature16467.
8. Lin W., Guo X., Pan X., Li Z. Chlorophyll composition, chlorophyll fluorescence, and grain yield change in esl mutant rice // *International Journal of Molecular Sciences*. 2018. Vol. 19(10), Article number: 2945.
9. Makino A., Osmond B. Solubilization of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase from the membrane fraction of pea leaves // *Photosynthesis research*. 1991. Vol. 29, P. 79–85. DOI: 10.1007/BF00035378
10. Matiu M., Ankerst D. P., Menzel A. Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961-2014 // *PloS one*. 2017. Vol. 12(5), Article number: e0178339. DOI: 10.1371/journal.pone.0178339
11. Michaletti A., Naghavi M. R., Toorchi M., Zolla L., Rinalducci S., Michaletti A. et al. Metabolomics and proteomics reveal drought-stress responses of leaf tissues from spring-wheat // *Scientific reports*. 2018. Vol. 8(1), Article number: 5710. DOI: 10.1038/s41598-018-24012-y
12. Noor H., Sun M., Algwaiz H. I. M. et al. Chlorophyll fluorescence and grain filling characteristic of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to nitrogen application level // *Molecular Biology Reports*. 2022. Vol. 49(7). P. 7157–7172. DOI: 10.1007/s11033-022-07612-w
13. Sugiura D., Mitsuya S., Takahashi H., Yamamoto R., Miyazawa Y. Microcontroller-based water control system for evaluating crop water use characteristics // *Plant Methods*. 2024. Vol. 20(1), Article number: 179. DOI: 10.1186/s13007-024-01305-0
14. Tambussi E. A., Maydup M. L., Carrión C. A., Guiamet J. J., Araus J. L. Ear photosynthesis in C3 cereals and its contribution to grain yield: methodologies, controversies, and perspectives // *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 72(11), P. 3956–3970. DOI: 10.1093/jxb/erab125
15. Thenappan D. P., Pandey R., Hada A., Jaiswal D. K., Chinnusamy V., Bhattacharya R., Annapurna K. Physiological Basis of Plant Growth Promotion in Rice by Rhizosphere and Endosphere Associated *Streptomyces* Isolates from India // *Rice (N Y)*. 2024. Vol. 17(1), Article number: 60. DOI: 10.1186/s12284-024-00732-w
16. Zhu D., Zhu G., Zhang Z., Wang Z., Yan X., Yan Y., Zhu D. et al. Effects of independent and combined water-deficit and high-nitrogen treatments on flag leaf proteomes during wheat grain development // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21(6), Article number: 2098. DOI: 10.3390/ijms21062098

References

1. Kozhushko N. N. Otsenka zasukhoustoichivosti polevykh kul'tur [Estimation of drought resistance of field crops. Diagnostics of plant resistance to stress effects (methodological guide)]. Diagnostika ustoichivosti rastenii k stressovym vozdeistviyam (metodicheskoe rukovodstvo) / pod red. G. V. Udovenko. L., 1988. VIR. 49 s.
2. Patent № 2824464 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C05F 11/08, C05F 9/04. Bioorganicheskoe udobrenie [Patent No. 2824464 C1 Russian Federation, IPC C05F 11/08, C05F 9/04. Bioorganic fertilizer]: № 2023133113: zayavl. 14.12.2023: opubl. 08.08.2024 / L. V. Galaktionova, N. A. Terekhova, D. G. Fedorova i dr.; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Orenburgskii gosudarstvennyi universitet».
3. Deng X., Liu Y., Xu X. X., Liu D. M., Zhu G. R., Yan X., Wang Z. M., Yan Y. M. Deng X. et al. Comparative proteome analysis of wheat flag leaves and developing grains under water deficit // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9, Article number: 425. DOI: 10.3389/fpls.2018.00425
4. Duan W., Wang S., Zhang H., Xie B., Zhang L. Plant growth and nitrate absorption and assimilation of two sweet potato cultivars with different N tolerances in response to nitrate supply // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14(1), Article number: 21286. DOI: 10.1038/s41598-024-72422-y
5. Janeeshma E., Johnson R., Amritha M. S., Noble L., Aswathi K. P. R., Telesiński A., Kalaji H. M., Auriga A., Puthur J. T. Modulations in Chlorophyll a Fluorescence Based on Intensity and Spectral Variations of Light // *Journal of Experimental Botany*. 2022. Vol. 23(10), Article number: 5599. DOI: 10.3390/ijms23105599
6. Kumar S., Sindhu S. S. Drought stress mitigation through bioengineering of microbes and crop varieties for sustainable agriculture and food security // *Current Research in Microbial Sciences*. 2024. Vol. 10(7), Article number: 100285. DOI: 10.1016/j.crmicr.2024.100285
7. Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production // *Nature*. 2016. Vol. 529, Article number: 7584. P. 84–87. DOI: 10.1038/nature16467.
8. Lin W., Guo X., Pan X., Li Z. Chlorophyll composition, chlorophyll fluorescence, and grain yield change in esl mutant rice // *International Journal of Molecular Sciences*. 2018. Vol. 19(10), Article number: 2945.
9. Makino A., Osmond B. Solubilization of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase from the membrane fraction of pea leaves // *Photosynthesis research*. 1991. Vol. 29, P. 79–85. DOI: 10.1007/BF00035378
10. Matiu M., Ankerst D. P., Menzel A. Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961-2014 // *PloS one*. 2017. Vol. 12(5), Article number: e0178339. DOI: 10.1371/journal.pone.0178339
11. Michaletti A., Naghavi M. R., Toorchi M., Zolla L., Rinalducci S., Michaletti A. et al. Metabolomics and proteomics reveal drought-stress responses of leaf tissues from spring-wheat // *Scientific reports*. 2018. Vol. 8(1), Article number: 5710. DOI: 10.1038/s41598-018-24012-y
12. Noor H., Sun M., Algwaiz H. I. M. et al. Chlorophyll fluorescence and grain filling characteristic of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to nitrogen application level // *Molecular Biology Reports*. 2022. Vol. 49(7), P. 7157–7172. DOI: 10.1007/s11033-022-07612-w

13. Sugiura D., Mitsuya S., Takahashi H., Yamamoto R., Miyazawa Y. Microcontroller-based water control system for evaluating crop water use characteristics // *Plant Methods*. 2024. Vol. 20(1), Article number: 179. DOI: 10.1186/s13007-024-01305-0
14. Tambussi E. A., Maydup M. L., Carrión C. A., Guiamet J. J., Araus J. L. Ear photosynthesis in C3 cereals and its contribution to grain yield: methodologies, controversies, and perspectives // *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 72(11), P. 3956–3970. DOI: 10.1093/jxb/erab125
15. Thenappan D. P., Pandey R., Hada A., Jaiswal D. K., Chinnusamy V., Bhattacharya R., Annapurna K. Physiological Basis of Plant Growth Promotion in Rice by Rhizosphere and Endosphere Associated *Streptomyces* Isolates from India // *Rice (N Y)*. 2024. Vol. 17(1), Article number: 60. DOI: 10.1186/s12284-024-00732-w
16. Zhu D., Zhu G., Zhang Z., Wang Z., Yan X., Yan Y., Zhu D. et al. Effects of independent and combined water-deficit and high-nitrogen treatments on flag leaf proteomes during wheat grain development // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21(6), Article number: 2098. DOI: 10.3390/ijms21062098

Поступила: 22.10.24; доработана после рецензирования: 25.12.24; принята к публикации: 27.12.24.

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. Федорова Д. Г. – концептуализация исследований, анализ литературных источников, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста, оформление сопроводительных документов; Галактионова Л. В. – непосредственное участие в проведении полевых испытаний, редакционная правка текста, финальная доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ПРОДУЦИРОВАНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬЯ

Е. А. Дёмин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, gambitn2013@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2542-3678;

С. С. Миллер, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, millerss@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-2406-0142

Государственный аграрный университет Северного Зауралья,
625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7

Цель работы – оценить степень влияния динамики температуры и влажности почвы на интенсивность продуцирования углекислого газа при использовании различных способов обработки почвы. Оценено влияние способов обработки на температурный режим и влажность почвы под посевами яровой пшеницы в 2023–2024 годах. Установлено, что температура и влажность почвы зависят в большей степени от погодных условий и варьируют в диапазоне 6,8–20,7 °С и 12,0–36,1 %. Определено, что в зависимости от влажности и температуры эмиссия CO₂ на отвальном фоне варьировала с мая по октябрь от 16,4 до 104,4 кг/га в сутки, на безотвальном – в диапазоне 13,8–105,7 кг/га и нулевом – 8,8–94,2 кг/га в 2023 году. В 2024 г. продуцирование CO₂ было выше и варьировало от 18,8 до 164,2 кг/га на отвальном варианте, от 15,0 до 155,7 кг/га на безотвальном и в диапазоне 12,0–142,5 на нулевом варианте. В опыте установлен высокий уровень зависимости температуры почвы и скорости эмиссии CO₂ ($r = 0,79–0,81$). Определено, что повышение температуры почвы на 1 °С увеличивает суточную эмиссию CO₂ на 9,44 кг/га при отвальной, на 9,59 кг/га при безотвальной и на 8,38 кг/га при нулевой обработке. Отмечен высокий уровень зависимости между влажностью почвы и эмиссией ($r = 0,58–0,67$). Установлено, что повышение влажности почвы на 1 % увеличивает эмиссию на 4,11 кг/га при отвальной обработке и на 3,70 и 3,22 кг/га при безотвальной и нулевой обработке соответственно.

Ключевые слова: Эмиссия, углекислый газ, дыхание почвы, обработка почвы, температура, влажность.

Для цитирования: Дёмин Е. А., Миллер С. С. Влияние температуры и влажности почвы на продуцирование диоксида углерода под действием различных способов основной обработки в условиях Зауралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 98–105. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-98-105.



THE EFFECT OF TEMPERATURE AND SOIL MOISTURE ON CARBON DIOXIDE EMISSION CAUSED BY VARIOUS PRIMARY TILLAGE METHODS IN THE TRANS-URALS

E. A. Demin, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, gambitn2013@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2542-3678;

S. S. Miller, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, millerss@gausz.ru, ORCID ID: 0000-0002-2406-0142

Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education “Northern Trans-Ural State Agricultural University”,
625003, Tyumen region, Tyumen, Respublik Str., 7

The purpose of the current work was to estimate the dynamic degree of the effect of temperature and soil moisture on the intensity of carbon dioxide emission when using various tillage methods. There has been studied the effect of tillage methods on the temperature regime and soil moisture under spring wheat crops in 2023–2024. There has been found that soil temperature and moisture greatly depend on weather conditions and ranged from 6.8–20.7 °C to 12.0–36.1 %. There has been determined that, depending on humidity and temperature, CO₂ emission with moldboard plowing varied from 16.4 to 104.4 kg/ha per day from May to October, with subsoil plowing it ranged from 13.8 to 105.7 kg/ha and with no-till method its range was from 8.8 to 94.2 kg/ha in 2023. In 2024, CO₂ emission was larger and varied from 18.8 to 164.2 kg/ha with moldboard plowing, from 15.0 to 155.7 kg/ha with subsoil plowing, and from 12.0 to 142.5 with no-till method. The trial has established a high level of correlation between soil temperature and the rate of CO₂ emission ($r = 0.79–0.81$). There has been determined that a 1°C increase in soil temperature increases daily CO₂ emission by 9.44 kg/ha with moldboard plowing, by 9.59 kg/ha with subsoil plowing, and by 8.38 kg/ha with no-till method. There has been established a high level of correlation between soil moisture and emission ($r = 0.58–0.67$). There has been found out that a 1 % increase in soil moisture increases emission by 4.11 kg/ha with moldboard plowing and by 3.70 and 3.22 kg/ha with subsoil plowing and no-till method.

Keywords: emission, carbon dioxide, soil respiration, tillage, temperature, moisture.

Введение. Изменение климата, которое происходит в настоящее время, ставит определенные трудности перед обществом. На одном ряду с экологической проблемой стоит и про-

довольственная безопасность населения в связи со значительными изменениями в среднегодовые температуры воздуха и количества осадков, выпадающих в различных почвенно-климатических зонах (Андрейчик и Монгуш, 2013). Это приводит к тому, что традиционные зональные системы земледелия не дают возможность получать планируемый урожай сельскохозяйственных культур и требуют корректировки (Любимова, 2022). Изменение климата происходит по причине повышения концентрации парниковых газов в атмосфере, основным из них принято считать диоксид углерода (Заварзин и Кудеяров, 2006). Почву считают основным резервуаром углерода, в ней сосредоточено в несколько раз больше запасов углерода, чем в наземной биомассе и атмосфере (Chernova et al., 2021). В результате протекающих в почве биохимических процессов выделяется высокое количество углекислого газа. Однако органическая масса растительных остатков, поступающая в почву на целинных почвах под естественной травянистой растительностью, в большинстве случаев стабилизирует углеродный баланс почвы и обеспечивает динамическое равновесие (Eremin, 2016). Вовлечение почвы в сельскохозяйственное использование приводит к нарушению баланса углерода в связи с улучшением аэрации почвы, усилением биологической активности и в некоторых случаях – к снижению поступающего углерода с побочной продукцией растениеводства (Завьялова и др., 2023). Принятие ряда нормативных документов в рамках климатической доктрины в мире и частности в России направлено на снижения негативного воздействия парниковых газов на климат. Один из таких документов – это концепция «4 промилле», согласно которой необходимо повышать запасы углерода в обрабатываемых почвах мира ежегодно на 0,4 % от запасов. В настоящее время современные исследователи ставят под сомнение решение поставленной задачи в связи с отсутствием полных данных по скорости эмиссии и секвестрации углерода в агроэкосистемах (Иванов и Столбовой, 2019). По этой причине в мире массово идет изучение влияния элементов земледелия, способных депонировать углерод в окультуренных почвах. Основная обработка почвы является главным звеном в системе агротехнических мероприятий – отрасли растениеводства. Многие исследователи утверждают, что нулевая технология моделирует естественный процесс почвообразования и обеспечивает снижение эмиссии диоксида углерода в агроценозах (Сафин и др., 2021). Однако другие исследователи придерживаются противоположного мнения и рекомендуют использование отвальной обработки для поддержания углеродного баланса почвы (Еремина и др., 2017). Это связано с тем, что обработки оказывают противоположное влияние на эмиссию и секвестрацию углерода в зависимости от климатических условий, динамики температуры, влажности и типа почвы, а так-

же системы земледелия и вида возделываемых культур. В связи с этим проведение подобных исследований в различных климатических зонах является необходимым мероприятием для создания общемировой модели эмиссии и секвестрации углерода в агроэкосистемах. Целью нашего исследования стало определение степени влияния динамики температуры и влажности почвы на интенсивность продуцирования углекислого газа при использовании различных способов обработки почвы.

Материалы и методы исследований. Изучение эмиссии было проведено в посевах яровой пшеницы в 2023–2024 годах. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом выщелоченным с типичными для Западной Сибири агрохимическими и физическими свойствами. Опыт был представлен тремя вариантами с различными способами обработки почвы: отвальный – вспашка (ПН-8-35), безотвальный – рыхление (ПЧН-2,3) на глубину 20–22 см и нулевой без обработки. Вспашку и рыхление проводили после уборки предшественника в сентябре. В мае бороновили (БЗСС-1,0) по физически спелой почве. Перед посевом культивировали почву (КПС-4) на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой. В дальнейшем сеяли яровую пшеницу (СЗМ-5,4) и прикатывали катками. На варианте с нулевой обработкой проводили прямой посев без предварительной культивации (КПС-2,1). Совместно с посевом проводили внесение аммиачной селитры в дозе 70 кг/га в действующем веществе. В фазу кущения выполняли химическую обработку посевов от сорняков баковой смесью (Секатор Турбо + Пума Супер 100) в дозах, рекомендованных производителем. Уборку проводили в фазу полной спелости прямым комбайнированием. Опыт был заложен в 4-кратном повторении, размер опытных делянок составлял 100 м², учетных – 50 м². Измерение скорости эмиссии диоксида углерода проводили с начала мая по октябрь, пока среднесуточная температура воздуха устойчиво (3-е суток) не перешла через 0 °С, каждые 10–16 суток методом закрытых камер. В 2023 г. измерение концентрации углекислого газа производили инфракрасным газоанализатором AZ77535. Более подробно с системой агротехнических мероприятий в опыте можно ознакомиться в опубликованной работе (Демин и Миллер, 2024). В 2024 г. для измерения использовали систему PriEco PRI-8610, замеры выполняли в 3-кратном повторении. В период измерения эмиссии CO₂ определяли температуру почвы с помощью электронного почвенного термометра в слое 0–30 см. Также проводили определение влажности почвы в слое 0–30 см термостатно-весовым методом в 3-кратном повторении. Отбор почвенных образцов делали послойно через каждые 10 см. Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel с использованием пакетной надстройки AgCstat.

Погода в периоды исследования отличалась от средних многолетних значений. 2023 г. характеризовался повышенной температурой воздуха на протяжении всей вегетации, где значения температуры были выше средних многолетних на 0,7–5,3 °С. Количество выпавших осадков при этом распределялось неравно-

мерно. В мае, июле и сентябре осадков выпало на 21–37 мм ниже нормы, в то время как в июне и августе отмечался избыток, который составлял 25–40 мм. Более подробно с погодными условиями 2023 г. можно ознакомиться в ранее опубликованной работе (Демин и Миллер, 2024) (рис. 1).

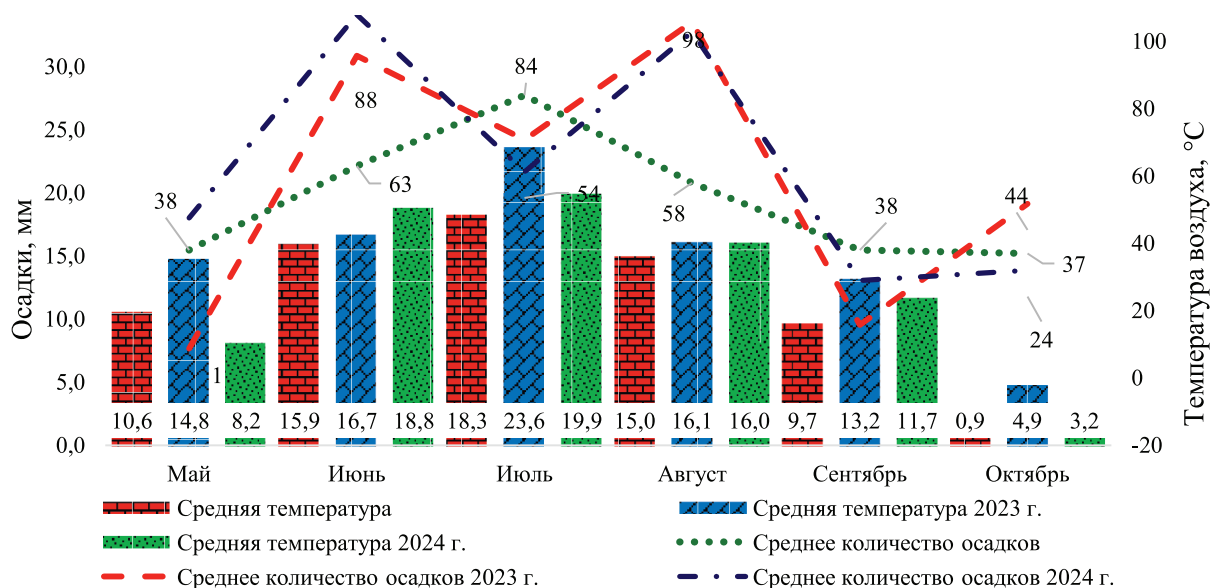


Рис. 1. Погодные условия периода исследований

Fig. 1. Weather conditions during the period of study

2024 г. также существенно отличался от нормативных показателей – температура воздуха в мае была на 2,4 °С ниже нормы, в то время как с июня по октябрь температура воздуха была на 1,1–2,8 °С выше средних многолетних значений. Атмосферные осадки распределялись тоже неравномерно. Май существенно не отличался от средних значений, тогда как в июне выпало на 37 мм выше среднемноголетних значений. В июле осадков было на 31 мм, а сентябре на 17 мм ниже средних значений.

Результаты и их обсуждение. В зависимости от погодных условий вегетационного периода температура почвы существенно отличалась, так в начале вегетации 2023 г. (май) почва прогревалась до температуры чуть выше 10 °С (рис. 2) и существенных различий по способам обработки почвы при этом не наблюдалось ($HCp_{05} = 0,2$ °С). С повышением температуры воздуха отмечалась тенденция к повышению температуры почвы до 20,2–20,7 °С ($HCp_{05} = 0,9$ °С).

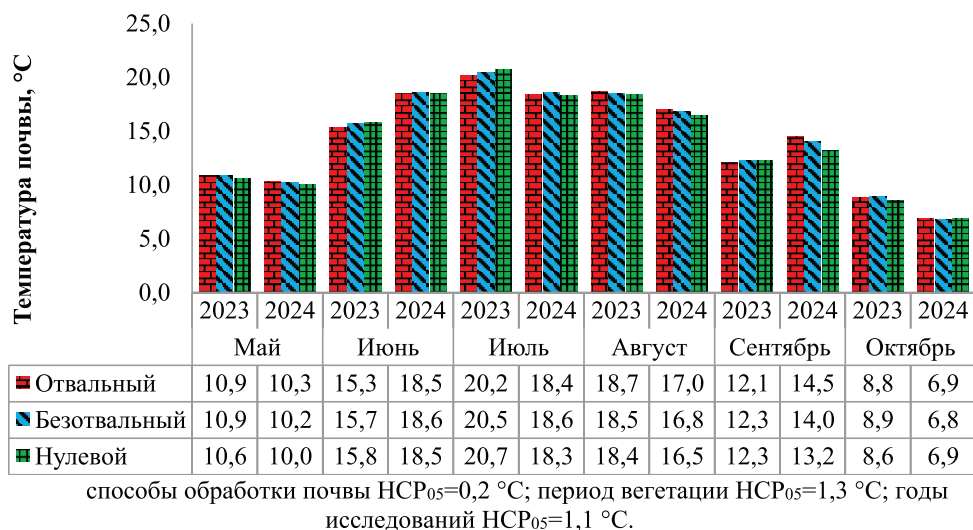


Рис. 2. Динамика температуры почвы (0–30 см)

в посевах яровой пшеницы при различных способах обработки почвы, °С

Fig. 2. Dynamics of soil temperature (0–30 cm) in spring wheat crops with various tillage methods, °С

При этом с мая по июль отмечалось, что температура под отвальным фоном была ниже, чем под безотвальным и нулевым на 0,3–0,5 °С. Это связано с тем, что при использовании отвальной обработки почвы улучшаются агрофизические и агрохимические свойства почвы, что приводит к более интенсивному набору листовой массы растениями. Более высокая биомасса при этом затеняет почву и снижает долю влияния солнечной радиации в формировании теплового режима. В дальнейшем температура почвы начинает опускаться к августу до 18,4–18,7 °С на всех изучаемых вариантах. Это происходит по причине того, что атмосферная температура интенсивно снижается, а активность солнечной радиации уменьшается. При этом отмечалась обратная закономерность – на отвальном фоне температура почвы была выше на 0,2–0,4 °С значений безотвального и нулевого. Это объясняется тем, что набранная большая биомасса яровой пшеницы создает определенный собственный микроклимат и снижает испарение с поверхности почвы, что приводит к более медленному ее остыванию. К началу осени влияние способа обработки почвы на температурный режим перестает отмечаться, и почва остывает практически до 12 °С. Это связано с тем, что растения пере-

шли в фазу созревания и листовая поверхность отмирает, а это приводит к раскрытию междурядья и к созданию общего микроклимата на всех изучаемых вариантах. К октябрю температура почвы опустилась до 8,8–8,9 °С на всех изучаемых вариантах.

В мае 2024 г. температура почвы достоверно не отличалась от температуры почвы 2023 года ($HCP_{05} = 1,1$ °С). Из-за особенностей погодных условий в июне почва прогрелась на 2,7–3,2 °С лучше, чем в прошлом году. В июле 2024 г. по сравнению с 2023 г. температура почвы была ниже на 1,8–2,4 °С по причине более низкой атмосферной температуры воздуха. В августе 2024 г. температура почвы была ниже на 1,7–1,9 °С в сравнении с прошлым годом. В сентябре температура почвы на отвальном фоне составляла 14,5 °С, на безотвальном и нулевом – 14,0 и 13,2 °С соответственно и была выше значений 2023 г. на 0,9–2,4 °С. К октябрю температура почвы опустилась до 6,8–6,9 °С на всех изучаемых вариантах.

Влажность почвы в течение вегетации существенно зависит от количества выпавших осадков. Влажность почвы в мае 2023 г. достигала 21,2–21,9 % при отвальном и безотвальном способе обработки почвы (рис. 3).

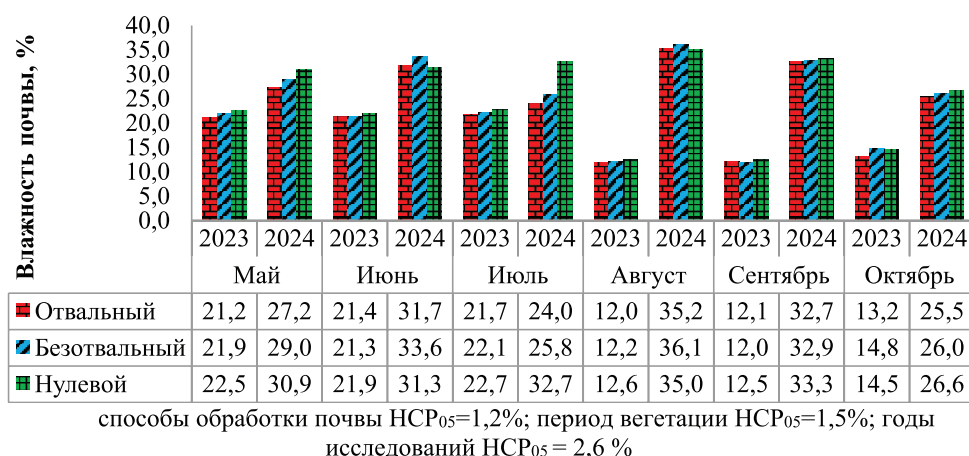


Рис. 3. Динамика влажности почвы (0–30 см) в посевах яровой пшеницы при различных способах обработки почвы, %
Fig. 3. Dynamics of soil moisture (0–30 cm) in spring wheat crops with various tillage methods, %

На варианте с нулевой обработкой влажность была выше на 1,3 % ($HCP_{05} = 1,2\%$). При этом достоверных отличий в изменении влажности почвы в июне и июле 2023 г. в сравнении с маем не наблюдалось, отклонения были в диапазоне неопределенности ($HCP_{05} = 1,5\%$). В данный период также не отмечалось достоверного влияния способов обработки почвы на ее влажность. В августе было отмечено существенное уменьшение влажности почвы, значения которой были на 45 % ниже, чем в июле. В сентябре не было отмечено изменения влажности почвы на всех изучаемых вариантах. В октябре на вариантах с безотвальной и нулевой обработкой отмечалось

увеличение влажности почвы на 23 и 16 % относительно прошлого месяца. Достоверное влияние способов обработки в 2023 г. на влажность почвы было отмечено лишь в октябре, где на варианте с безотвальной и нулевой обработкой влажность была на 12 и 10 % выше отвального варианта.

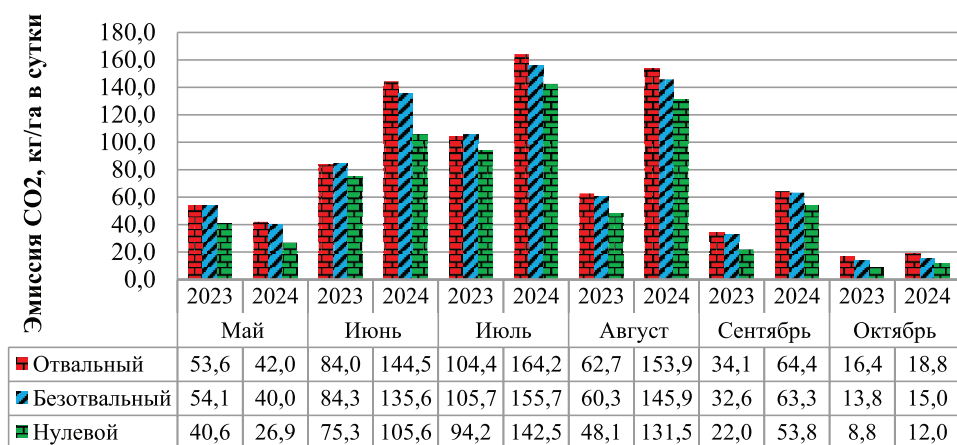
В 2024 г. влажность почвы значительно отличалась от значений, полученных в 2023 г., в связи с большим количеством осадков и более низкой температурой воздуха практически на протяжении всей вегетации. Влажность почвы в начале вегетации в 2024 г. была значительно выше (6,0–8,4 %), чем в прошлом периоде исследования ($HCP_{05} = 2,6\%$). Это связано

с тем, что в 2024 г. количество осадков, выпавших в холодный период года, было значительно выше, чем в 2023 г., что привело весной к большому насыщению почвы влагой. К влияющим на более высокую влажность факторам можно отнести также большее количество осадков, выпавших в мае 2024 года. Дополнительно на повышенную влажность почвы в 2024 г. могла влиять температура воздуха в мае, которая была ниже значений 2023 г. на 4,2 °С, что приводило к снижению испарения с поверхности почвы. При этом существенно отличалась влажность почвы на нулевом фоне, которая была выше, чем на отвальном, на 3,7 %. Это может быть связано с более низким испарением влаги на варианте с нулевой технологией из-за оставшегося на поверхности почвы мульчирующего слоя соломы. В июле на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой влажность почвы опускалась на 7,7 и 7,8 % относительно прошлого месяца. На нулевом фоне значения не отличались от предыдущего месяца, но были выше, чем на варианте с отвальной обработкой, на 8,7 %. Это связано с более низким испарением влаги из почвы в результате того, что температура почвы ниже, чем на отвальном фоне, на 0,3 °С, а также из-за мульчирующего слоя соломы на поверхности почвы. В августе из-за обильных и равномерных осадков отмечалось повышение влажности почвы на 2,3–11,2 % относительно прошлого месяца. Меньше всего влажность повысилась на варианте с нулевой обработкой. Возможно, это свя-

зано с тем, что при длительном отказе от основной обработки почвы плотность сложения повышается, что затрудняет проникновение влаги и насыщение почвы водой. В сентябре отмечалось понижение влажности почвы на 1,7–3,2 % относительно прошлого месяца. При этом существенных отличий по способам обработки почвы не наблюдалось.

На интенсивность почвенного дыхания оказывают влияние разнообразные факторы, к которым относятся погодные условия, почвенно-климатическая зона, виды сельскохозяйственных угодий, агрофизические и агрохимические свойства почвы (Джаббаров и др., 2024). В 2023 г. в среднем за май эмиссия диоксида углерода составляла на отвальном фоне 53,6 кг/га в сутки (рис. 4), увеличиваясь относительно майских значений на 57 % к июню и на 95 % к июлю ($HCP_{05} = 11,7$ кг/га в сутки).

При использовании безотвального способа обработки почвы в мае CO_2 существенно не отличалась от отвального фона ($HCP_{05} = 5,8$ кг/га в сутки). В июле наблюдалась динамика по повышению скорости эмиссии CO_2 , которая возросла на 56 % относительно исходных значений. По сравнению с отвальным фоном достоверного отличия в этот временной интервал не отмечалось. К наиболее теплому месяцу – июлю происходило возрастание скорости продуцирования CO_2 , которая повышалась на 25 % относительно значений прошлого месяца, при этом не отмечалось существенных изменений между отвальным и безотвальным фоном.



способы обработки почвы $HCP_{05}=5,8$ кг/га в сутки; период вегетации $HCP_{05}=11,7$ кг/га в сутки; годы исследований $HCP_{05}=15,4$ кг/га в сутки.

Рис. 4. Динамика эмиссии диоксида углерода в посевах яровой пшеницы при различных способах обработки почвы, кг CO_2 /га в сутки
Fig. 4. Dynamics of carbon dioxide emission in spring wheat crops with various tillage methods, kg CO_2 /ha per day

На варианте, где основная обработка почвы не предусматривалась, скорость эмиссии диоксида углерода так же, как и на других вариантах, повышалась в июне и июле на 86 и 160 % соответственно относительно значений, полученных в мае. При этом в мае дыхание почвы составляло 40,6 кг/га в сутки, что было

на 13,0 кг/га в сутки ниже значений, полученных на отвальном варианте в тот же промежуток времени. В июне и июле скорость эмиссии CO_2 была на нулевом варианте тоже меньше на 10 и 11 %, чем на вариантах с отвальной и безотвальной обработкой. С августа на всех изучаемых вариантах происходило снижение

скорости эмиссии углекислого газа. На отвальном фоне дыхание почвы к августу снизилось на 40 % относительно предыдущих значений и продолжало опускаться на 67 % к сентябрю и на 77 % к октябрю относительно максимально отмеченных значений. На безотвальном варианте снижение скорости эмиссии CO_2 имело подобную отвальному фону тенденцию. На варианте с нулевой обработкой почвы уменьшение скорости продуцирования CO_2 составляло до 49 % к августу относительно значений июля, к сентябрю и октябрю эмиссия уменьшилась на 77 и 91 % относительно максимально отмеченных значений. При этом дыхание почвы с августа по октябрь было ниже на 23–46 %, чем на отвальном фоне, и наметилась тенденция к более резкому сокращению к октябрю.

В 2024 г. скорость эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы существенно отличалась от предыдущего года исследований. Это связано с особенностью погодных условий, гидротермическим коэффициентом, температурой и влажностью почвы, которые в существенной мере были различными. В мае эмиссия углекислого газа была ниже на 11,6–14,1 кг/га в сутки значений, полученных в 2023 г., однако отклонения находились в диапазоне неопределенности ($\text{НСР}_{05} = 15,4$ кг/га в сутки). Достоверные отличия по вариантам были получены лишь на нулевом фоне, где они были ниже значений отвального фона на 36 %. В дальнейшем наблюдалась тенденция, как и в 2023 г., к повышению скорости эмиссии CO_2 до июля в связи с повышением температуры почвы. В июне отмечалось существенное возрастание скорости продуцирования CO_2 на всех вариантах относительно мая. На отвальном фоне дыхание почвы возросло на 102,5 кг/га в сутки, на безотвальном и нулевом – на 95,6 и 78,7 кг/га в сутки соответственно. Стоит отметить, что относительно периода прошлого года скорость эмиссии была выше на 40–72 %. Также отмечены различия по всем исследуемым вариантам: на безотвальном и нулевом фоне значения эмиссии были ниже отвального на 6 и 27 % соответственно. В июле скорость продуцирования углекислого газа повышалась относительно предыдущего месяца на 14 % при использовании отвальной обработки, на 15 % – при безотвальной и на 35 % – при нулевой. Относительно 2023 г. скорость эмиссии была выше на 57 % на отвальном, на 47 и 51 на безотвальном и нулевом варианте. При этом между вариантами отмечалась тенденция к повышению дыхания почвы по схеме нулевой < безотвальный < отвальный. Эмиссия CO_2 , полученная в августе, существенно не изменилась относительно июля, отклонения находились в диапазоне ошибки исследования, однако была практически в 2,5 раза выше значений 2023 года. К сентябрю интенсивность почвенного дыхания сокращалась более чем в половину от значений августа на всех

изучаемых вариантах: на отвальном и безотвальном варианте до 64,4–63,3 кг/га в сутки, на нулевом – до 53,8 кг/га. К октябрю значения эмиссии опускались до 12,0–18,8 кг/га в сутки и не отличались как от значений 2023 г., так и по вариантам.

Отсутствие достоверного различия в скорости эмиссии диоксида углерода в течение вегетации между отвальным и безотвальным вариантами может быть связано с тем, что глубокое рыхление обеспечивает разрыхление обрабатываемого слоя, что повышает аэрацию почвы до одного уровня отвального фона. Часть растительных остатков в результате проведения обработок на отвальном и безотвальном варианте попадает в обрабатываемый горизонт почвы. Взаимосвязь этих двух причин способствует высокой биологической активности на глубине всего обрабатываемого слоя почвы. Это приводит к тому, что биохимические процессы с выделением CO_2 протекают в большем слое почвы, чем на нулевом варианте, где основная масса побочных продуктов остается на поверхности почвы и основная часть почвенной микробиоты сосредоточена в верхнем горизонте почвы, наиболее богатом органическим веществом. К причинам, заслуживающим внимания, можно отнести также и то, что мульчирующий слой соломы на варианте с нулевой технологией приводит к более долгому прогреву почвы, что тоже снижает активность почвенной биоты и скорость протекающих биохимических процессов.

К одним из основных факторов, влияющих на интенсивность почвенного дыхания, можно отнести температуру и влажность почвы, которые оказывают существенное влияние на активность микробиоты и трансформацию органического вещества почвы. Это и объясняет существенные отличия в скорости эмиссии в зависимости от года исследований (Белоусова и Белоусов, 2024). Проведя расчеты, был отмечен высокий уровень зависимости температуры почвы и эмиссии диоксида углерода в среднем за 2023–2024 гг. на всех изучаемых вариантах ($r = 0,79–0,83$) (табл.). Уравнения, которые удалось разработать для различных способов обработки почвы, имеют высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,63–0,66$) и показывают на то, что скорость эмиссии CO_2 при увеличении температуры почвы на единицу градуса повышается по схеме нулевой < отвальный < безотвальный на 9,59, 9,44 и 8,38 кг/га соответственно.

В исследовании было также установлено, что влажность почвы оказывает влияние на скорость эмиссии углекислого газа в сутки, корреляция варьировала по вариантам в диапазоне ($r = 0,58–0,67$). Выявлено, что повышение влажности почвы на 1% увеличивает дыхание почвы по схеме нулевой < безотвальный < отвальный на 3,22 ($R^2 = 0,33$), 3,70 ($R^2 = 0,43$) и 4,11 ($R^2 = 0,45$) кг/га соответственно.

**Корреляционная и регрессионная связь между температурой, влажностью почвы
и эмиссией диоксида углерода при различных способах обработки почвы**
**Correlation and regression between temperature, soil moisture
and carbon dioxide emission with various tillage methods**

Обработка	Температура/ влажность	r	R ²	Уравнение регрессии
Отвальный	Температура	0,81	0,66	$y = 9,4382x - 58,8$
Отвальный	Влажность	0,67	0,45	$y = 4,114x - 20,0$
Безотвальный	Температура	0,83	0,64	$y = 9,5886x - 65,5$
Безотвальный	Влажность	0,66	0,43	$y = 3,7015x - 16,3$
Нулевой	Температура	0,79	0,63	$y = 8,3785x - 55,7$
Нулевой	Влажность	0,58	0,33	$y = 3,2181x - 16,1$

Выводы.

1. Динамика температуры и влажности почвы в посевах яровой пшеницы в большей мере зависит от погодных условий, нежели от способа обработки почвы. Температура на отвальном фоне с мая по октябрь варьировала от 6,9 до 20,2 °С, на варианте с безотвальной обработкой – в диапазоне 6,8–20,5 °С и нулевой – 6,8–20,7 °С. Влажность почвы за вегетацию варьировала в 2023 г. от 12,0 до 21,7 % на отвальном фоне, от 12,0 до 22,1 % – на безотвальном и от 12,5 до 22,7 % – на нулевом. В 2024 г. средняя влажность почвы за вегетацию была выше и находилась в диапазоне от 24,0–35,2 % на отвальном варианте, 25,8–36,1% – на безотвальном, 26,6–35,0 % – на нулевом.

2. Эмиссия CO₂ в течение вегетации варьировала в широком диапазоне в зависимости от температуры и влажности почвы. На отвальном варианте с мая по июль скорость продуцирования диоксида углерода на отвальном фоне составляла от 42,0 до 164,2 кг/га в сутки. С августа скорость эмиссии начинала опускаться к октябрю с 62,7–153,9 до 16,4–18,8 кг/га в сутки. На безотвальном варианте в 2023 г. продуци-

рование CO₂ существенно не отличалась от отвального варианта, тогда как в 2024 г. с июня по август значения были ниже на 5,2–6,4% относительно отвального варианта. На нулевом варианте скорость эмиссии за годы исследований варьировала от 8,8 до 142,5 кг/га в сутки и была ниже на 9,8–46,3 % значений отвального фона. При этом в 2024 г. с июня по сентябрь дыхание почвы на всех изучаемых вариантах было выше, чем в 2023 г., на 40–173 %.

3. В исследовании была установлена взаимосвязь между температурой почвы и скоростью эмиссии CO₂ в течение вегетации ($r = 0,79–0,81$). Установлено, что прогрев почвы на 1 °С увеличивает поток CO₂ по схеме нулевой < безотвальный < отвальный вариант на 9,59, 9,44 и 8,38 кг/га в сутки соответственно. Влажность почвы также влияет на дыхание почвы по схеме нулевой < безотвальный < отвальный на 3,22, 3,70 и 4,11 кг/га в сутки при повышении влажности на 1 %.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005.

Библиографический список

1. Андрейчик М. Ф., Монгуш Л. Д. Н. Изменение атмосферных осадков и гидротермического коэффициента на фоне потепления климата в Хемчикской котловине Республики Тыва // Вестник КрасГАУ. 2013. № 6(81). С. 141–144.
2. Белоусова Е. Н., Белоусов А. А. Трансформация органических соединений углерода и азота агрочерноземов при применении безотвальных технологий обработки в Красноярской лесостепи // Агрохимия. 2024. № 5. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188124050019
3. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Ямалтдинова В. Р., Казакова И. В. Аккумуляция атмосферного углерода культурами севооборота и влияние систем удобрения на накопление органического углерода пахотной дерново-подзолистой почвой // Агрохимия. 2023. № 6. С. 47–56. DOI: 10.31857/S0002188123060121
4. Демин Е. А., Миллер С. С. Влияние различных способов обработки и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья // Земледелие. 2024. № 4. С. 13–18. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18
5. Джаббаров Н. И., Мишанов А. П., Захаров А. М., Добринов А. В. Методика оценки уровня выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18, № 3. С. 75–81. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81
6. Еремина Д. В., Фисун Н. В., Ахтямова А. А. Оптимизационная модель гумусообразования пахотных черноземов за счет использования соломы зерновых культур // Агропродовольственная политика России. 2017. № 6(66). С. 15–19.
7. Заварзин Г. А., Кудеяров В. Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76, № 1. С. 14–24.
8. Иванов А. Л., Столбовой В. С. Инициатива «4 промилле» – новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. № 98. С. 185–202. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202
9. Любимова, И. Н. Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1301–1309. DOI: 10.31857/S0032180X22100112

10. Сафин Р. И., Валиев А. Р., Колесар В. А. Современное состояние и перспективы развития углеродного земледелия в Республике Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63). С. 7–13. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-7-13

11. Eremin D. I. Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49, № 5. P. 538–545. DOI: 10.1134/S1064229316050033

12. Chernova O. V., Golozubov O. M., Alyabina I. O., Schepaschenko D. G. Integrated Approach to Spatial Assessment of Soil Organic Carbon in the Russian Federation // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54(3). P. 325–336. DOI: 10.1134/S1064229321030042

References

1. Andreichik M. F., Mongush L. D. N. Izmenenie atmosferykh osadkov i gidrotermicheskogo koeffitsienta na fone potepleniya klimata v Khemchikskoi kotlovine Respubliki Tyva [Changes in atmospheric precipitation and hydrothermal coefficient caused by climate warming in the Khemchik Basin of the Republic of Tyva] // Vestnik KrasGAU. 2013. № 6(81). S. 141–144.

2. Belousova E. N., Belousov A. A. Transformatsiya organicheskikh soedinenii ugleroda i azota agrochernozemov pri primeneni bezotval'nykh tekhnologii obrabotki v Krasnoyarskoi lesostepi [Transformation of organic compounds of carbon and nitrogen of agrochernozems when using subsoil tillage of the Krasnoyarsk forest-steppe] // Agrokhimiya. 2024. № 5. S. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188124050019

3. Zav'yalova N. E., Vasbieva M. T., Yamaltdinova V. R., Kazakova I. V. Akkumulyatsiya atmosfernogo ugleroda kul'turami sevooborota i vliyaniye sistem udobreniya na nakopleniye organicheskogo ugleroda pakhotnoi dernovo-podzolistoi pochvoi [Atmospheric carbon accumulation by the crops in crop rotation and the effect of fertilization systems on organic carbon accumulation by arable sod-podzolic soil] // Agrokhimiya. 2023. № 6. S. 47–56. DOI: 10.31857/S0002188123060121

4. Demin E. A., Miller S. S. Vliyaniye razlichnykh sposobov obrabotki i temperatury pochvy na emissiyu uglekislogo gaza v posevakh yarovoi pshenitsy v usloviyakh lesostepnoi zony Zaural'ya [The effect of various tillage methods and soil temperature on carbon dioxide emissions in spring wheat crops in the forest-steppe area of the Trans-Urals] // Zemledelie. 2024. № 4. S. 13–18. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18

5. Dzhabborov N. I., Mishanov A. P., Zakharov A. M., Dobrinov A. V. Metodika otsenki urovnya vybrosov parnikovykh gazov pri vozdeystvovanii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Methodology for estimating the level of greenhouse gas emissions during crop cultivation] // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2024. T. 18, № 3. S. 75–81. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81

6. Eremina D. V., Fisunov N. V., Akhtyamova A. A. Optimizatsionnaya model' gumusoobrazovaniya pakhotnykh chernozemov za schet ispol'zovaniya solomy zernovykh kul'tur [Optimization model of humus formation in arable chernozems using grain crop straw] // Agroprodovol'stvennaya politika Rossii. 2017. № 6(66). S. 15–19.

7. Zavarzin G. A., Kudeyarov V. N. Pochva kak glavnyi istochnik uglekislotoy i rezervuar organicheskogo ugleroda na territorii Rossii [Soil as a main source of carbon dioxide and a reservoir of organic carbon in Russia] // Vestnik Rossiiskoi akademii nauk. 2006. T. 76, № 1. S. 14–24.

8. Ivanov A. L., Stolbovoi V. S. Initsiativa "4 promille" – novyi global'nyi vyzov dlya pochv Rossii [The '4 per mille' initiative is a new global challenge for Russian soils] // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva. 2019. № 98. S. 185–202. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-185-202

9. Lyubimova, I. N. Vozmozhnye izmeneniya pochv sukhosopnoi zony v svyazi s global'nym izmeneniyem klimata [Possible changes in dry-steppe soils due to global climate change] // Pochvovedenie. 2022. № 10. S. 1301–1309. DOI: 10.31857/S0032180X22100112

10. Safin R. I., Valiev A. R., Kolesar V. A. Sovremennoe sostoyaniye i perspektivy razvitiya uglerodnogo zemledeliya v Respublike Tatarstan [Current state and prospects for the development of carbon farming in the Republic of Tatarstan] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. T. 16, № 3(63). S. 7–13. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-7-13

11. Eremin D. I. Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49, № 5. P. 538–545. DOI: 10.1134/S1064229316050033

12. Chernova O. V., Golozubov O. M., Alyabina I. O., Schepaschenko D. G. Integrated Approach to Spatial Assessment of Soil Organic Carbon in the Russian Federation // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54(3), P. 325–336. DOI: 10.1134/S1064229321030042

Поступила: 27.12.24; доработана после рецензирования: 28.01.25; принята к публикации: 28.01.25.

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. Дёмин Е. А. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Миллер С. С. – подготовка опыта, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.161:632.484.21:632.938.1

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-106-113

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРЛИКОВОЙ РЖАВЧИНЫ В ПИТОМНИКАХ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

Е. С. Дорошенко, младший научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, katyalevchenko1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6015-5616;

Н. В. Шишкин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3836-0297
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Наблюдение за распространением карликовой ржавчины на посевах озимого ячменя и фитопатологическом участке ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» начали проводить с 2013 года. Среди селекционного и коллекционного материала необходимо было найти высоко восприимчивый к патогену сорт для создания качественного инфекционного фона. Собранный в эпифитотийные годы, споровый материал патогена накапливался. В 2021 г. отсутствие признаков заболевания отмечено у 150 образцов, до 10 % проявили 105 образцов, в коллекционном материале был отобран сорт Н-5602 (Болгария) с поражением патогеном до 90 % листовой пластины и развитием крупных пустул, идеально подходящий в качестве контроля по восприимчивости. В 2022 г. из 243 изученных образцов озимого ячменя без признаков поражения было 125 сортов: Параллелум 2119, Параллелум 2120, Параллелум 2126 (РФ), Novosadski 329 (Югославия), Posaune (Англия), Vektra (Нидерланды), Купец (РФ) и др. В 2023 г. из 244 изученных образцов без признаков поражения было выделено 9 сортов из коллекции: HVW 1427, Cita, Nixe, Post, KWS 2-234, Tiffani (Германия), Explorer 8 (Франция) и Gupsi, Willis (США). В условиях 2024 г. без признаков поражения карликовой ржавчиной отмечено 35 образцов из изученных 229: Параллелум 2216, Паллидум 2100, Паллидум 2100, Огоньковский (РФ), Sombrero (Англия) и др. За все годы исследования выделены три сорта, не пораженных патогеном (Жерун (Болгария), Рому (Австрия), Огоньковский (РФ)), и 129 сортов с проявлением различной реакции по годам, но не более 10 % поражения (Веслец (Болгария), Параллелум 2110, Параллелум 2136 (РФ) и др.). Среди сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», внесенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ и допущенных к использованию в производстве, выделился сорт Фокс 1 (проявление патогена не превышало 5 %). Устойчивость (до 10 % поражения) проявили сорта Тимофей, Маруся, Жигули и Ерема.

Ключевые слова: ячмень, устойчивость, карликовая ржавчина.

Для цитирования: Дорошенко Е. С., Шишкин Н. В. Результаты изучения распространения карликовой ржавчины в питомниках озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 106–113. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-106-113.



STUDY RESULTS OF DWARF RUST SPREAD IN WINTER BARLEY NURSERIES

E. S. Doroshenko, junior researcher of the laboratory for plant immunity and protection, katyalevchenko1@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6015-5616;

N. V. Shishkin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3836-0297
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Dwarf rust spread in winter barley crops and the phytopathological plot of the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" has been studied since 2013. Among the breeding and collection material, it was necessary to identify a variety being highly susceptible to the pathogen in order to develop a high-quality infectious background. The pathogen spore material collected in epiphytotic years has been accumulated. In 2021, the absence of disease signs was established in 150 samples, 105 samples had 10 % of signs, the variety 'H-5602' (Bulgaria) was selected from the collection material, with 90 % damage of the leaf blade and the development of large pustules, ideally suited as a control for susceptibility. In 2022, out of 243 studied winter barley samples, 125 varieties, among which 'Parallelum 2119', 'Parallelum 2120', 'Parallelum 2126' (RF), 'Novosadski 329' (Yugoslavia), 'Posaune' (England), 'Vektra' (Netherlands), 'Kupets' (RF), etc., showed no signs of damage. In 2023, out of 244 studied samples, there were identified 9 varieties 'HVW 1427', 'Cita', 'Nixe', 'Post', 'KWS 2-234', 'Tiffani' (Germany), 'Explorer 8' (France) and 'Gupsi', 'Willis' (USA) without signs of damage. In 2024, 35 samples out of 229 studied were found to have no signs of dwarf rust damage ('Parallelum 2216', 'Pallidum 2100', 'Pallidum 2100', 'Ogonkovsky' (RF), 'Sombrero' (England), etc.). Over the years of the study, there were identified 3 varieties 'Zherun' (Bulgaria), 'Romy' (Austria), 'Ogonkovsky' (RF) that were not affected by the pathogen, and 129 samples with different reactions over the years, but no more than 10 % damage (among which 'Veslets' (Bulgaria), 'Parallelum 2110', 'Parallelum 2136' (RF), etc.). Among the varieties developed in the FSBSI "ARC "Donskoy", included in the State List of Breeding Achievements of the Russian Federation and ap-

proved for use in production, the variety 'Foks 1' was the best in pathogen manifestation with less than 5 %. Pathogen resistance (up to 10 % damage) was demonstrated by the varieties 'Timofey', 'Marusya', 'Zhiguli' and 'Erema'.

Keywords: barley, resistance, dwarf rust.

Введение. В структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур Ростовской области ячмень неизменно занимает второе место после озимой пшеницы (Doroshenko et al., 2021). Он является основной зернофуражной культурой региона. В целом почвенно-климатические ресурсы области благоприятны для возделывания ячменя. Однако в зоне неустойчивого увлажнения наблюдаются колебания урожаев зерновых и других сельскохозяйственных культур, что определяется в основном гидротермическими условиями (Попов и др., 2021).

Площади озимого ячменя в Ростовской области за период с 2014 по 2022 г. в среднем колеблются в пределах от 31,5 до 57,3 тыс. га в зависимости климатических условий, складывающихся в регионе, и от коммерческого спроса на данную культуру. Наибольшая посевная площадь была отмечена в 2020 г. (57,3 тыс. га), наименьшая – в 2021 г. (31,5 тыс. га). Валовой сбор озимого ячменя в регионе зависит прежде всего от его урожайности и посевных площадей, занимаемых данной культурой, и ежегодно колеблется в пределах от 120,6 до 212,0 тыс. т зерна. Самый высокий валовой сбор зерна озимого ячменя был в 2020/2021 с.-х. году (около 212,0 тыс. т), минимальный – в 2018/2019 с.-х. году (120,6 тыс. т), когда отмечались самая низкая посевная площадь и урожайность культуры в области. Урожайность ячменя в регионе сильно изменялась как по годам, так и в среднем и находилась на уровне 3,9 т/га. За период 2014–2022 гг. наибольшая урожайность была получена в 2017/2018 с.-х. году (около 4,5 т/га), наименьшая – в 2018/2019 с.-х. году (3,6 т/га) (Филенко и др., 2024; Репко и др., 2023).

Важным лимитирующим урожайность сортов фактором является распространение в посевах фитопатогенов. Одним из них является карликовая ржавчина ячменя (*Puccinia hordei* Otth.) – вредоносное заболевание, распространенное во всех регионах мира, где выращивается ячмень (Семенова и др., 2021). Патоген наиболее распространен в регионах возделывания культуры с умеренным климатом. В последние годы увеличилось его проявление в Ростовской области и Краснодарском крае. В регионах совместного возделывания озимых и яровых форм ячменя патоген встречается чаще. Снижение урожая восприимчивых сортов может достигать до 62 % (Волкова и др., 2021).

Патоген поражает все надземные части растений, покрывая их ржаво-бурыми беспорядочно разбросанными урединиями (скопления спор). Начинает проявляться на растениях ближе к периоду молочно-восковой спелости (Волкова и др., 2021). На нижней стороне листовой пластинки появляются ржавые пустулы. Часто развитие патогена переходит на верх-

нюю часть листа, а также влагалища листьев, стебли и ости. Провоцирующим развитие фактором является наличие свободной влаги, обильные ночные росы и температуры в пределах 5–25 °C (Волкова и др., 2019).

В условиях 2014 г. на посевах Аграрного научного центра «Донской» случилась вспышка карликовой ржавчины. На некоторых сортах было зафиксировано развитие болезни 20–30 % на яровом ячмене и 50–60 % на озимом ячмене (Данилова и др., 2022).

Целью дальнейшей работы было найти контроль по восприимчивости к местной популяции карликовой ржавчины озимого ячменя для создания качественного инфекционного фона патогена и достоверному ранжированию данных. Отобрать на искусственном инфекционном фоне источники устойчивости к патогену для селекционной работы на иммунитет.

Для ее достижения решали следующие задачи: сбор и накопление достаточного количества инфекции для проведения исследования в естественных условиях, подбор контроля по восприимчивости согласно литературным данным и реакции на местную популяцию патогена для создания качественного инфекционного фона; ранжирование исследуемых образцов по степени и типу устойчивости; выявление образцов, обладающих устойчивостью к патогену.

В период с 2015 по 2020 г. вспышек карликовой ржавчины не наблюдалось, очаговые проявления патогена имели слабое развитие с единичными пустулами на листовой поверхности озимого ячменя. Только в условиях 2021 г. и последующие годы удалось продолжить дальнейшую работу в выбранном направлении.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2021–2024 гг. на изолированном инфекционном стационарном участке лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «АНЦ «Донской». Почва опытного участка – чернозем обыкновенный (предкавказский карбонатный) глинистый малогумусный. Структура почвы зернисто-комковатая (Дорошенко и др., 2022).

Объектом исследования послужили образцы озимого ячменя отдела селекции семеноводства ячменя Центра, полученные из ФГБНУ ФИЦ ВИГРР им. Вавилова, ФГБНУ НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» и учреждений других стран (Украина, Беларусь, Германия, Голландия, Чехия, Дания). Количество изучаемых образцов варьировало: в 2021 г. изучено 257 образцов, в 2022 г. – 243, в 2023 г. – 244, в 2024 г. – 229. Посев осуществляли в оптимальные сроки ручными сажалками.

Для оценки устойчивости к возбудителю карликовой ржавчины создавали искусственный инфекционный фон. Образцы высевали

ли ярусами, размещенными перпендикулярно господствующим ветрам. Делянки длиной 1 пог. метр в ярусе длиной 15 м, предшественик – пар. Площадь делянки составляла 0,7 м² в одной повторности. В питомнике через каждые 20 делянок изучаемых сортов находился контроль по восприимчивости – сорт озимого ячменя Н-5602 (Болгария) для большей инфекционной нагрузки. Вдоль каждого яруса также высевали ряд восприимчивого сорта для накопления инфекции.

Заражение растений проводили в апреле – мае в фазу выхода растений в трубку при температуре воздуха не менее 12 °С. При этом

продолжительность увлажнения для прорастания урединиоспор и внедрения возбудителя составляла минимум 6 ч. Для этого вечером при выпадении обильной росы либо по принудительно орошенным растениям проводили опудривание посева смесью урединиоспор с мукой, нагрузка 10 мг/м², соотношение 1:100. Инфекционный материал патогена предварительно подвергали обводнению во влажной камере для провоцирования прорастания спор. Для проведения заражения использовали местный споровый материал популяции карликовой ржавчины (рис. 1).

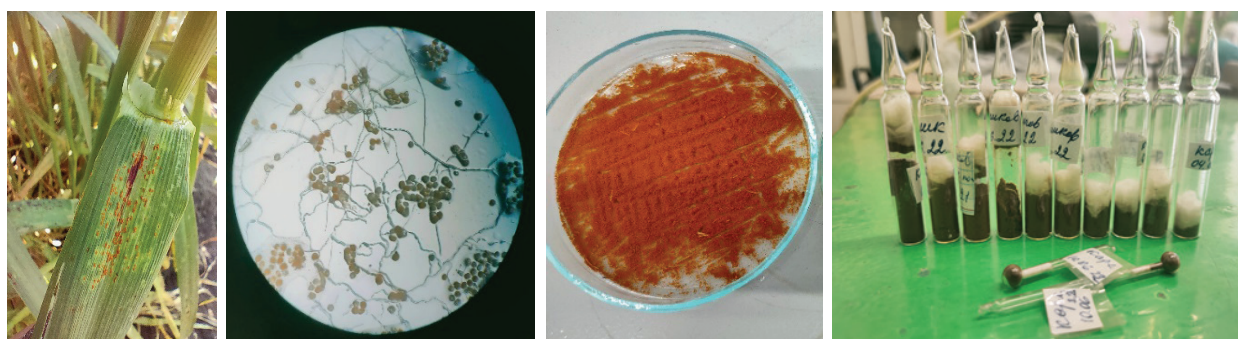


Рис. 1. Слева направо: проявление карликовой ржавчины на озимом ячмене; прорастание обводненных спор патогена перед проведением весеннего заражения; собранный с листовой поверхности спорный материал; споровый материал, приготовленный к хранению

Fig. 1. From left to right: manifestation of dwarf rust on winter barley; germination of water-saturated spores of the pathogen before spring infection; spore material collected from the leaf surface; spore material prepared for storage

В период проведения (2021–2024 гг.) исследований метеорологические условия различались как по температурным режимам, так и по времени и количеству выпавших осадков.

Весна 2021 г. отличалась количеством осадков и температурами, превышающими среднемноголетние показатели либо немного ниже их (апрель –0,7 °С к среднемноголетним). В таких условиях патоген получил хорошие условия для развития и долго сохранялся на растениях до момента усыхания листьев в июне.

В 2022 г. после обильных осадков в марте–апреле и температуре, благоприятной для патогена, первые пустулы стали наблюдаться еще в начале мая. В дальнейшем развитие продолжилось, запасов влаги в почве и воздухе хватило для дальнейшего развития патогена на растениях в мае. Повышенные температуры воздуха и засуха июня неблагоприятно отразились на растениях и патогене соответственно (URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Зернограде) (табл. 1).

Таблица 1. Лимитирующие факторы развития патогена в марте – июне (2021–2024 гг.)
Table 1. Factors limiting pathogen development in March–June (2021–2024)

Месяц	Среднемноголетние	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Среднемесячное количество осадков, мм					
Март	37,0	83,2	67,4	36	8,7
Апрель	42,7	95,7	65,9	88	13
Май	51,3	65	31,13	116	22
Июнь	71,3	103,9	9,57	37	13
Среднемесячная температура воздуха, °С					
Март	2,0	11,5	1	7,4	5
Апрель	10,7	10	12,6	11,5	16,5
Май	16,5	18,1	14,8	16	15,6
Июнь	20,5	21,5	23,2	20,5	24,7
Относительная влажность, %					
Март	76	78	69	72	68
Апрель	64	74	66	73	54
Май	68	63	60	69	50
Июнь	59	70	49	66	50

Весной 2023 г. лимитирующие осадки, превышающие среднемноголетние показатели, были в апреле (+ 45,3 мм) и мае (+ 64,7 мм). При этом температурный режим был выше либо на уровне многолетних значений и благоприятен для развития патогена. Спороношение было долгим и сохранялось до полного усыхания листьев.

Условия 2024 г. характеризовались сильным недобором количества осадков, повышенными показателями по температуре. Такие условия отрицательно повлияли на развитие ячменя. Долгое время патоген проявлялся единичными пустулами на поверхности листа. В мае при выпадении небольших дождей на протяжении нескольких дней сложились благоприятные условия для эпифитотии патогена. Но под действием засухи ускорялись старение листьев и срок вегетации растений и патогена на них.

Основными показателями фитосанитарного состояния посевов служила интенсивность развития болезни на листовой поверхности растений. Для карликовой ржавчины ее определяли по видоизмененной шкале Кобба в процентах (от 0 до 100 %). Оценку реакции и степень пораженности образцов проводили с учетом размера пустул по следующей шкале CIMMYT:

O – отсутствие признаков заболевания;

R – устойчивость: площадь поражения до 10%;

MR – средняя устойчивость: среднего размера пустулы, поражено не более 30 %;

MS – средняя восприимчивость: мелкие пустулы, поражение менее 50 %;

S – восприимчивость: крупные пустулы, поражение может достигать 100 % (Данилова и др., 2022).

Результаты и их обсуждение. В условиях 2021 г. на изучении находились 257 об-

разцов озимого ячменя, включающих селекционный материал и рабочую коллекцию сортов. Отсутствие признаков заболевания отмечено у 150 образцов: Жерун (Болгария), Огоньковский (РФ), Romy (Австрия) и др. До 10 % поражения проявили 105 образцов. Внимание привлекли два сорта: Шелк (Болгария) с поражением до 70 % листа мелкими пустулами патогена и Н-5602 (Болгария), пораженный до 80 %, но пустулы более крупные, иногда переходящие на стебель растения.

Отбор нового, восприимчивого к карликовой ржавчине в условиях нашего региона контроля, сорта Н-5602 (Болгария) позволил создать качественный инфекционный фон на озимом ячмене, его поражение составило 70–80 % всей листовой поверхности растений. В 2022 г. из 243 изученных образцов озимого ячменя без признаков поражения было 125 сортов: Параллелум 2119, Параллелум 2120, Параллелум 2126 (РФ), Novosadski 329 (Югославия), Posaune (Англия), Vektra (Нидерланды), Купец (РФ), Жерун (Болгария), Огоньковский (РФ), Romy (Австрия) и др. До 5 % поражение отмечено у 43 образцов: Трудівник (Украина), Онега (РФ), Capten, Explorer 8, Explorer 4/2, Rebele (Франция), Wintwalt (Германия), Nixe (Германия), Frost (Швейцария), Анафелин (Болгария) и др. До 10 % поражения отмечено у 29 образцов: Параллелум 1958 x Паллидум 1970, Параллелум 2047, Параллелум 1958 x Тимофей, Параллелум 1958 x Паллидум 1899, Параллелум 1957 x Параллелум 1967, Параллелум 1960 x KWS – Skala, Паллидум 1899 и др. Поражались патогеном до 20 % 35 образцов: Академичный (Украина), Параллелум 1959 x Паллидум 1970, Параллелум 2048, Параллелум 1957 x Wintwalt и др. Поражение на уровне контроля проявили образцы Параллелум 2131 и Параллелум 2086 (рис. 2).



Рис. 2. Интенсивность развития карликовой ржавчины на растениях озимого ячменя по видоизмененной шкале Кобба (2021–2024 гг.)

Fig. 2. Intensity of dwarf rust development on winter barley plants according to the modified Cobb scale (2021–2024)

Проявление карликовой ржавчины в условиях 2023 г. на восприимчивом контроле составило 70–80 % всей листовой поверхности растений. Из 244 изученных образцов озимого ячменя без признаков поражения было выделено 9 сортов из коллекции: Жерун (Болгария), Огоньковский (РФ), Romy (Австрия), Post, KWS 2-234, Tiffani (Германия), Explorer 8 (Франция) и Gupsi, Willis (США). До 5 % поражаются 91 исследуемых образцов: Абориген, 561/292 (Украина), Параллелум 2137 (РФ) и др. От 5 до 10 % поражения отмечено у 96 образцов: Безостый 2074, Параллелум 2168, Премьер, Паллидум 2165, Буран (РФ), Karisma (Англия) и др. До 20 % поражения патогеном листовой поверхности имели 50 образцов: Параллелум 2152, Параллелум 2048, Ерема х Параллелум 1990, Паллидум 2161, Параллелум 2131 (РФ), Лайз (Болгария) и Золак (Беларусь) и др.

В условиях 2024 г. контроль по восприимчивости поражен до 80 %. Без признаков пора-

жения карликовой ржавчины отмечено 35 образцов из изученных 229: Параллелум 2216, Паллидум 2100, Паллидум 2100, Жерун (Болгария), Огоньковский (РФ), Romy (Австрия), Sombbrero (Англия) и др. До 5 % развития патогена отмечено у 82 образцов: Плейзант (Болгария), Фокс 1, Параллелум 2110, Параллелум 2120 (РФ) и др. От 5 до 10 % поражения отмечено у 65 образцов: Спринтер, Юрий, Эспада (РФ), Академичный (Украина) и др. До 20 % поражения патогеном листовой поверхности имели Carrice (Франция) и HNW 738/74 (Германия).

При оценке реакции и степени пораженности карликовой ржавчиной ценным материалом для селекционной работы являются образцы без признаков проявления патогена и с развитием не более 10 %. Количество образцов без признаков поражения патогеном за годы исследования варьировало от 9 до 150 шт., а устойчивых с проявлением патогена до 10 % на листовой поверхности – от 72 до 187 шт. (рис. 3).

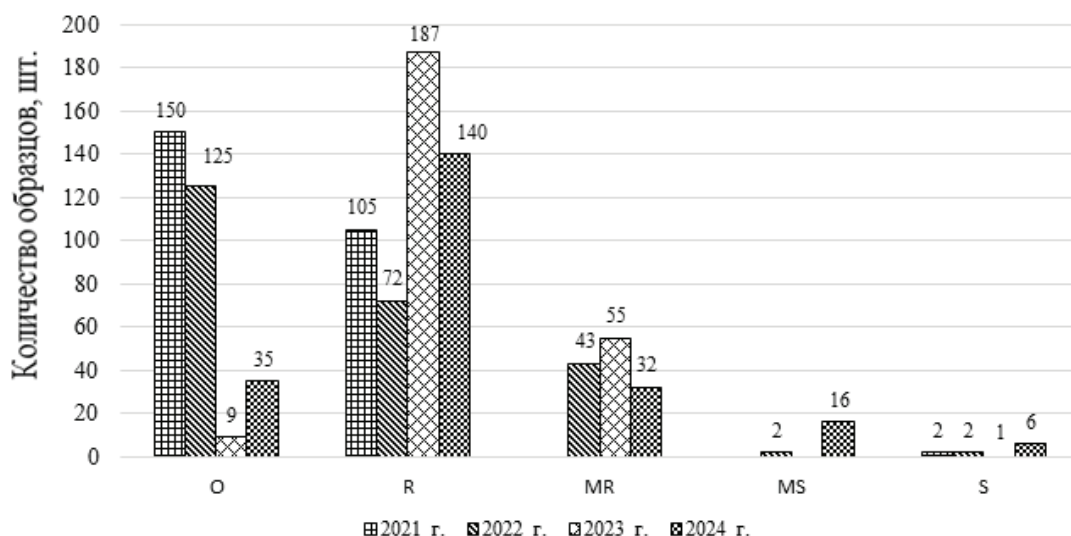


Рис. 3. Распределение изученных образцов озимого ячменя по шкале CIMMYT (2021–2024 гг.)

Fig. 3. Distribution of studied winter barley samples according to the CIMMYT scale (2021–2024)

Не пораженных патогеном за все годы исследования сортов выделено только три, и все они из коллекции: Жерун (Болгария), Огоньковский (РФ) и Romy (Австрия). Выделено

129 устойчивых образцов, которые имели различное проявление патогена по годам, но не более 10 % листовой поверхности (табл. 2).

Таблица 2. Иммунологическая реакция некоторых выделившихся по устойчивости к карликовой ржавчине образцов озимого ячменя (2021–2024 гг.)

Table 2. Immunological reaction of some winter barley samples of 2021–2024 with the best dwarf rust resistance

Название сорта/линии	Происхождение	Итоговая оценка реакции	Интенсивность развития, %			
			2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Параллелум 2110	Российская Федерация	R	0	0	3	5
Параллелум 2120	Российская Федерация	R	0	0	3	10
Параллелум 2136	Российская Федерация	R	0	0	0	5
Версаль	Российская Федерация	R	3	5	5	5
Веслец	Болгария	R	0	1	3	5
Вутан	Франция	R	0	0	1	5
Гордей	Российская Федерация	R	0	1	3	5
Жерун	Болгария	O	0	0	0	0

Продолжение табл. 2

Название сорта/линии	Происхождение	Итоговая оценка реакции	Интенсивность развития, %			
			2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Изгрев	Болгария	R	0	0	1	5
Нати	Германия	R	0	0	5	10
Синельниковский 56	Украина	R	0	0	1	1
Окал	Чехия	R	0	0	5	10
Огоньковский	Российская Федерация	O	0	0	0	0
Индиана	Болгария	R	0	0	1	5
Willis	США	R	0	0	0	5
Wintwalt	Германия	R	0	1	3	10
Vanessa	Франция	R	0	0	3	10
Tiffani	Германия	R	0	0	3	10
Romy	Австрия	O	0	0	0	0

Сорта ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», внесенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ и допущенные к использованию в производстве, также проходили оценку к карликовой ржавчине. Наилучшие показатели устойчивости за годы проведения исследования проявил сорт Фокс 1

(проявление патогена не превышало 5 % листовых поверхностей с небольшим размером пустул). Также устойчивость (до 10 % поражения) проявили сорта Тимофей, Маруся, Жигули и Ерема. Сорт Виват является средне восприимчивым к патогену (табл. 3).

Таблица 3. Иммунологическая реакция сортов ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», внесенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ (2021–2024 гг.)
Table 3. Immunological reaction of barley varieties developed in the FSBSI «ARC «Donskoy», included in the State List of Breeding Achievements of the Russian Federation in 2021–2024

Название сорта	Год включения в реестр	Итоговая оценка реакции	Интенсивность развития, %			
			2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
ячмень двуручка						
Тимофей	2012	R	0	1	5–10	10
Виват	2018	MS	0	3–5	10	30
Маруся	2020	MR	0	1	5	10
ячмень озимый						
Жигули	2008	MR	0	0	5	10
Ерема	2015	MR	0	1	5	5–10
Фокс 1	2019	R	0	1	5	1–3

Исходя из вышеуказанных данных, представленные сорта поддерживают разнообразие по признаку устойчивости к карликовой ржавчине и допустимы к использованию в регионах с возможным эпифитотийным проявлением патогена. При возделывании средне-восприимчивого сорта Виват рекомендуется дополнительный контроль либо использование сортосмешанных посевов. Данный прием поможет обеспечить экологическую безопасность и экономическую эффективность в случае вспышки карликовой ржавчины благодаря пространственной изоляции пораженных растений.

Выводы. В результате многолетних наблюдений был выделен восприимчивый к местной расе карликовой ржавчины сорт озимого ячменя Н-5602 (Болгария). Это позволило создать качественный инфекционный фон, на котором были выделены сорта и линии озимого ячменя с высокой устойчивостью к патогену. За период 2021–2024 гг. выделены три сорта,

не пораженных патогеном (Жерун (Болгария), Romy (Австрия), Огоньковский (РФ)), и 129 сортов – с проявлением различной реакции по годам, но не более 10 % поражения (Веслец (Болгария), Параллелум 2110, Параллелум 2136 (РФ) и др.). Среди сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», внесенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ и допущенных к использованию в производстве, выделился сорт Фокс 1 (проявление патогена не превышало 5 %). Устойчивость (до 10 % поражения) проявили сорта Тимофей, Маруся, Жигули и Ерема. Эти источники устойчивости являются ценным селекционным материалом, рекомендованы к дальнейшему генетическому изучению для определения характера устойчивости и использованию в селекционных программах на иммунитет.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № 0706-2019-0003 и № 0505-2022-0003.

Библиографический список

1. Архив погоды в Зернограде. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Зернограде (дата обращения 21.12.2024).
2. Волкова Г. В., Данилова А. В., Кудинова О. А. Вирулентность популяции возбудителя карликовой ржавчины ячменя на Северном Кавказе в 2014–2017 годах // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, №3. С. 589–596. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.589rus
3. Волкова Г. В., Данилова А. В., Шуляковская Л. Н., Минакова А. В. Фитосанитарное состояние посевов ячменя озимого в Краснодарском крае и Республике Адыгея в предуборочный период // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 50–63. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-50-63
4. Волкова Г. В., Данилова А. В., Яхник Я. В., Гладкова Е. В., Таранчева О. В. Иммунологическая оценка устойчивости сортов озимого ячменя к листовым заболеваниям на юге России // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 16–21. DOI: 10.31857/S2500262721050033
5. Данилова А. В., Волкова Г. В., Надикта В. Д., Замотайлов А. С. Карликовая ржавчина ячменя: биология, этиология, внутривидовая структура и защита от болезни. Краснодар: ООО «РПК «ЗЕТАПРИНТ», 2022. 93 с.
6. Дорошенко Е. С., Дорошенко Э. С., Шишкин Н. В. Полная иммунологическая характеристика коллекции голозерного ячменя в условиях южной зоны // Аграрный вестник Урала. 2022. № 8(223). С. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26
7. Попов А. С., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Донцова А. А., Донцов Д. П., Зеленская Г. М., Фетюхин И. В., Лесных О. С. Влияние гидротермических условий на формирование урожая ячменя двуручки сорта Маруся в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 63–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-63-68
8. Репко Н. В., Шуликин А. Е., Белокур Е. В., Шалыпин В. В., Заика Р. П. Анализ динамики посевных площадей и урожайности ячменя в Российской Федерации // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 192. С. 169–184. DOI: 10.21515/1990-4665-192-014
9. Семенова А. Г., Анисимова А. В., Ковалева О. Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 4. С. 108–116.
10. Филенко Г. А., Донцова А. А., Скворцова Ю. Г. Оценка производства и мониторинг сортового состава высеванных семян озимого ячменя в Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 60–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-60-66
11. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 июня 2021 года. – Ussurijsk, 2021. Article number: 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121

References

1. Arkhiv pogody v Zernograde [Weather archive in Zernograd]. URL: [https://rp5.ru/Arkhir_pogody_v_Zernograd](https://rp5.ru/Arkhir_pogody_v_Zernograde) (data obrashcheniya: 21.12.2024).
2. Volkova G. V., Danilova A. V., Kudinova O. A. Virulentnost' populyatsii возбуdivatelya karlikovoi rzhavchiny yachmenya na Severnom Kavkaze v 2014–2017 godakh [Virulence of the population of the dwarf barley rust pathogen in the North Caucasus in 2014–2017] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2019. T. 54, №3. S. 589–596. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.589rus
3. Volkova G. V., Danilova A. V., Shulyakovskaya L. N., Minakova A. V. Fitosanitarnoe sostoyanie posevov yachmenya ozimogo v Krasnodarskom krae i Respublike Adygeya v preduborochnyi period [Phytosanitary condition of winter barley crops in the Krasnodarsky Krai and the Republic of Adygea in the pre-harvest period] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2021. № 1(25). S. 50–63. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-50-63
4. Volkova G. V., Danilova A. V., Yakhnik Ya. V., Gladkova E. V., Tarancheva O. V. Immunologicheskaya otsenka ustoichivosti sortov ozimogo yachmenya k listovym zabolevaniyam na yuge Rossii [Immunological estimation of winter barley varieties' resistance to foliar diseases in the south of Russia] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2021. № 5. S. 16–21. DOI: 10.31857/S2500262721050033
5. Danilova A. V., Volkova G. V., Nadykta V. D., Zamotailov A. S. Karlikovaya rzhavchina yachmenya: biologiya, etiologiya, vnutripopulyatsionnaya struktura i zashchita ot bolezni [Dwarf barley rust: biology, etiology, intrapopulation structure and protection against the disease]. Krasnodar: OOO «RPK «ZETAPRINT», 2022. 93 s.
6. Doroshenko E. S., Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Polnaya immunologicheskaya kharakteristika kollektsii голозерного yachmenya v usloviyakh yuzhnoi zony [Complete immunological characteristics of the hulless barley collection in the southern part] // Agrarnyi vestnik Urala. 2022. № 8(223). S. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26
7. Popov A. S., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Zelenskaya G. M., Fetyukhin I. V., Lesnykh O. S. Vliyaniye gidrotermicheskikh uslovii na formirovaniye urozhaya yachmenya-dvuruchki sorta Marusya v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [The effect of hydrothermal conditions on the formation of facultative barley yield of the variety 'Marusya' in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). S. 63–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-63-68
8. Repko N. V., Shulikin A. E., Belokur E. V., Shalyapin V. V., Zaika R. P. Analiz dinamiki posevnykh ploshchadei i urozhainosti yachmenya v Rossiiskoi Federatsii [Analysis of the dynamics of sown areas and barley production in the Russian Federation] // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 192. S. 169–184. DOI: 10.21515/1990-4665-192-014

9. Semenova A. G., Anisimova A. V., Kovaleva O. N. Ustoichivost' k vrednym organizmam sovremennykh sortov yachmenya [Resistance to pests of modern barley varieties] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. T. 182, № 4. S. 108–116.

10. Filenko G. A., Dontsova A. A., Skvortsova Yu. G. Otsenka proizvodstva i monitoring sortovogo sostava vyseyannykh semyan ozimogo yachmenya v Rostovskoi oblasti [Estimation of production and monitoring of varietal composition of sown winter barley seeds in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 4. S. 60–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-60-66

11. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 iyunya 2021 goda. Ussurijsk, 2021. Article number: 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121

Поступила: 10.12.24; доработана после рецензирования: 21.01.25; принята к публикации: 21.01.25.

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. Дорошенко Е. С. – выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Шишкин Н. В. – концептуализация исследования.

ВИДОВОЙ СОСТАВ КЛОПОВ – ФИТОФАГОВ ПО ФЕНОФАЗАМ РАЗВИТИЯ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

И. И. Шарапов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, scharapov86@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7222-9993;

Ю. А. Шарапова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, belyaeva.u.a@yandex.ru, ORCID ID: ORCID 0000-0003-0197-8513

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства
имени П. Н. Константинова,
446442, Самарская обл., Кинельский р-н, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76

В статье представлены обобщенные данные исследований за 2021–2023 гг. по видовому составу хлебных клопов в агроценозе озимой мягкой пшеницы в весенне-летний период в лесостепной зоне Самарской области. Цель исследования заключалась в определении видового состава хлебных клопов по фенофазам развития озимой мягкой пшеницы в весенне-летний период вегетации. С этой целью проводили учеты имаго и личинок хлебных клопов методом кошения энтомологическим сачком в разные фенофазы развития озимой пшеницы на опытных полях Поволжского НИИСС. Определение видового состава проводили в лаборатории. Метеоусловия периода исследований отличались контрастностью. Отмечались засушливые годы (2021, 2023) и прохладный год с обильными осадками в первую половину весенне-летней вегетации (2022). В фазу кущения отмечалось два вида хлебных клопов, в фазу выход в трубку – 4 вида, в фазы «колошение» – «полная спелость» – 6 видов клопов, относящихся к четырем семействам: Pentatomidae (*Dolycoris baccarum* L., *Aelia acuminata* L.), Scutelleridae (*Eurygaster maura* L., *Eurygaster integriceps* Puton.), Berytidae (*Notostira erratica* L.), Miridae (*Trigonotylus ruficornis* Geoffr.). В фазы колошения – цветения доминирующим видом была элия остроголовая (55–38 %). В период налива зерна (молочная, восковая, полная спелость) доминирующим видом был клоп вредная черепашка (36–51 %). Имаго и личинки хлебного клопика и фруктового клопа встречались в агроценозе озимой мягкой пшеницы во все фазы развития культуры. Клоп вредная черепашка и элия остроголовая отмечались начиная с фазы выхода в трубку, маврская черепашка и странствующий клопик – начиная с фазы колошения озимой пшеницы.

Ключевые слова: хлебные клопы, озимая пшеница, фенофазы, видовой состав.

Для цитирования: Шарапов И. И., Шарапова Ю. А. Видовой состав клопов – фитофагов по фенофазам развития озимой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Самарской области // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 114–120. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-114-120.



SPECIES COMPOSITION OF PHYTOPHAGOUS BUGS ACCORDING TO PHENOPHASES OF WINTER COMMON WHEAT DEVELOPMENT IN THE FOREST-STEPPE OF THE SAMARA REGION

I. I. Sharapov, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, scharapov86@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7222-9993;

Yu. A. Sharapova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, belyaeva.u.a@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0197-8513

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov,
446442, Samara region, Kinel'sky district, v. of Ust-Kinel, Shosseynaya Str., 76

The current paper has presented the generalized research data of the species composition of grain bugs in the winter common wheat agroecosystem during the spring-summer period in the forest-steppe of the Samara region in 2021–2023. The purpose of the study was to identify the species composition of grain bugs according to the phenophases of winter common wheat development in the spring-summer vegetation period. For this purpose, there have been recorded imago and larvae of grain bugs by mowing with an entomological net in different phenophases of winter wheat development in the experimental plots of the Povolzhsky RIBSP. The species composition was determined in the laboratory. The weather conditions of the research period were contrasting. The years of 2021, 2023 were dry and the year of 2022 was cool with abundant precipitation in the first half of the spring-summer vegetation period. There were identified 2 species of grain bugs in a tillering stage, 4 species in a booting stage, in the stages 'heading – full ripeness' there were 6 species of bugs belonging to 4 families: Pentatomidae (*Dolycoris baccarum* L., *Aelia acuminata* L.), Scutelleridae (*Eurygaster maura* L., *Eurygaster integriceps* Puton.), Berytidae (*Notostira erratica* L.), Miridae (*Trigonotylus ruficornis* Geoffr.). In a heading stage, the dominant species was *Aelia acuminata* (55–38 %). During the ripening stage (milk, wax, dead ripeness), the dominant species was *Eurygaster integriceps* Puton. (36–51 %). Imago and larvae of the *Trigonotylus ruficornis* Geoffr. and *Dolycoris baccarum* L. bug were found in the agroecosystem of winter common wheat at all stages of wheat development. *Eurygaster integriceps*

and *Aelia acuminata* were found on the crops starting from a booting stage, *Eurygaster maura* and *Notostira elongata* were found on the crops starting from a heading stage of winter wheat.

Keywords: grain bugs, winter wheat, phenophases, species composition.

Введение. Озимая пшеница является основной продовольственной и страховой культурой Самарской области. Она в зависимости от года занимает 20–25,0 % посевных площадей области. Площадь сева колеблется от 420 до 550 тыс. га (Шарапов и Шарапова, 2024).

Средние потери урожайности пшеницы от вредителей составляют 8–9 %. Наиболее опасными вредителями зерновых культур являются фитофаги с колюще-сосущим ротовым аппаратом, среди которых наиболее опасны хлебные клопы, которые снижают не только урожайность, но и качество продукции. Также клопы являются переносчиками вирусных заболеваний пшеницы.

К основным фитофагам с колюще-сосущим ротовым аппаратом в Самарской области относятся тли, цикадки, хлебные клопы (хлебный клопик (*Trigonotylus ruficornis* Geoffr.), странствующий клопик (*Notostira erratica* L.), клоп вредная черепашка (*Eurygaster integriceps* Puton.), маврская черепашка (*Eurygaster maura* L.), австрийская черепашка (*Eurygaster austriaca* Schrank), элия остроголовая (*Aelia acuminata* L.) (Каплин, 2016).

Основными видами вредителей во время роста и развития озимой пшеницы, кукурузы, ржи, ячменя, овса, проса являются клопы слепняки родов *Eurygaster* и *Aelia* (Sakka et. al., 2022; Gibicsár and Keszthelyi, 2023). В настоящее время в России зафиксировано 6 видов рода *Eurygaster* (Немаровец, 2020). Клопы вредная черепашка, маврская черепашка, австрийская черепашка, а также элия остроголовая являются наиболее опасными клопами-фитофагами озимой пшеницы (Vaccino et. al., 2017).

Имаго и личинки хлебных клопов повреждают вегетативные органы (стебли, листья, колосья) и генеративные органы (зерно) пшеницы (Dizlek and Özer, 2017). При питании хлебные клопы нарушают структуру клейковины в зерновке, воздействуя ферментом слюнных желез – протеазой (Конарев, 2020; Капусткина, 2023).

По данным S. Gibicsár and S. Keszthelyi (2023) клоп вредная черепашка распространен в Восточной, Юго-Восточной Европе, в Центральной и Западной части Азии. Маврская и австрийская черепашки распространены в Центральной и Южной Европе

и Центральной Азии, элия остроголовая – в Западной, Центральной и Восточной Европе и Западной и Центральной Азии.

В годы, характеризующиеся мягкой зимой и повышенной температурой в мае – июне, наблюдается высокая численность хлебных клопов в период вегетации (Torbica et. al., 2014).

Целью исследования было определение видового состава клопов-фитофагов в агроценозе озимой пшеницы в разные фенофазы развития. В связи с этим ставились следующие задачи:

– провести учеты клопов-фитофагов в агроценозе озимой пшеницы по фенофазам развития

– определить видовой состав клопов-фитофагов по фенофазам развития озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований.

Материалом для написания статьи послужили данные учетов имаго и личинок клопов-фитофагов в агроценозе озимой мягкой пшеницы в 2021–2023 годах. Учеты проводили на опытных полях в Поволжском НИИСС им. П.Н. Константинова. Учет клопов-фитофагов выполняли в утренние часы в безветренную погоду кошением энтомологическим сачком (по 25 взмахов) по диагонали поля в 4-кратной повторности, отступая от края поля. Площадь учетных делянок составляла 1,0–1,5 га. Учеты проводили на сорте озимой мягкой пшеницы Поволжская Нива (районирован в Самарской области с 2017 г.), разновидность велютинум. Кошение проводили в следующие фазы весенне-летнего развития озимой пшеницы: кущение, выход в трубку, колошение, цветение, поздняя молочная спелость, твердая восковая спелость, поздняя полная спелость (по шкале ВВСН). Мешочки с насекомыми доставляли в лабораторию и замаривали. В дальнейшем образцы разбирали по видовому составу и подсчитывали количество особей. Видовой состав определяли с помощью определителя В.С. Великань и др. (1980).

На развитие озимой пшеницы и хлебных клопов большое влияние оказывают условия роста и развития: почвенные, антропогенные, а главным образом метеорологические. Метеоусловия за период исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метеорологические условия за период 2021–2023 гг. и среднемноголетние значения
Table 1. Weather conditions during 2021-2023 and mean long-term values

Месяц	Количество осадков, мм			Среднемноголетнее значение	Средняя температура воздуха, °C			Среднемноголетнее значение
	2021	2022	2023		2021	2022	2023	
Апрель	30,7	40,7	3,2	27	9,3	9,4	11,4	7,3
Май	20,8	83,5	8,0	33,0	21,5	11,1	19,3	14,0
Июнь	72,3	53,9	33,4	39,0	22,9	19,0	19,2	18,7
Июль	6,3	12,1	0,0	31,0	23,8	20,5	26,5	20,6

Весенний период 2021 г. характеризовался повышенной температурой – на 2,0–7,5 °C выше нормы. Количество осадков в апреле было выше на 13,0 % от среднееголетнего значения, в мае, наоборот, наблюдался дефицит осадков. Летний период вегетации озимой пшеницы характеризовался повышенной температурой воздуха – на 3,0–4,0 °C, в июле выпало большое количество осадков (на 85 % выше нормы), а в июле – дефицит осадков (20 % от нормы). Наблюдался резкий подъем численности клопов-фитофагов. Пик численности отмечался в 3-й декаде июня и составлял 56 экз./100 взмахов сачком.

В апреле 2022 г. наблюдалась повышенная температура воздуха (на 2,1 °C), количество осадков было выше на 51,0 %. В мае наблюдалось снижение температуры на 2,9 °C, выпало большое количество осадков (253 % от нормы). В июне температура была на уровне среднееголетнего значения, выпали обильные осадки. В июле установилась теплая сухая погода, дефицит осадков составлял 61,0 %. Максимальная численность клопов отмечалась в 1-й декаде июля и составляла 20 экз./100 взмахов сачком. Наблюдался плановый подъем численности, что связано с выпадением большого количества осадков в первой половине весенне-летней вегетации озимой пшеницы.

Апрель и май 2023 г. характеризовались как острозасушливые (дефицит осадков составлял 88 и 76 % соответственно), температура воздуха была выше среднееголетнего значения на 4,1 и 5,3 °C соответственно. В июне наблюдалась температура на 0,5 °C выше нор-

мы с дефицитом осадков. Июль был жаркий, с полным отсутствием осадков. Наблюдалось два пика численности, которые отмечались в 1-й декаде мая (38,0 экз./100 взмахов сачком) и во 2-й декаде июня (39,0 экз./100 взмахов сачком).

Метеорологические условия в период проведения исследования отличались контрастностью. Температура воздуха в период исследования превышала среднееголетние значения с дефицитом осадков в 2021 и 2023 гг., лишь в 2022 г. наблюдались обильные осадки в апреле – июне. В годы с повышенной температурой и низким количеством осадков наблюдалось быстрое нарастание численности, отмечался один и два максимума численности клопов-фитофагов. В прохладные годы с большим количеством осадков нарастание численности происходит плановомерно, отмечается один максимум численности клопов-фитофагов.

Результаты и их обсуждение. В результате обследования агроценоза озимой мягкой пшеницы было выявлено 6 видов растительоядных клопов, которые относились к четырём семействам: Pentatomidae (*Dolycoris baccarum* L., *Aelia acuminata* L.), Scutelleridae (*Eurygaster maura* L., *Eurygaster integriceps* Puton), Berytidae (*Notostira erratica* L.), Miridae (*Trigonotylus ruficornis* Geoffr.). В зависимости от фазы развития озимой пшеницы видовой состав хлебных клопов – фитофагов изменялся. В фазу кущения отмечалось два вида клопов, основным распространённым видом был странствующий клопик (рис. 1).

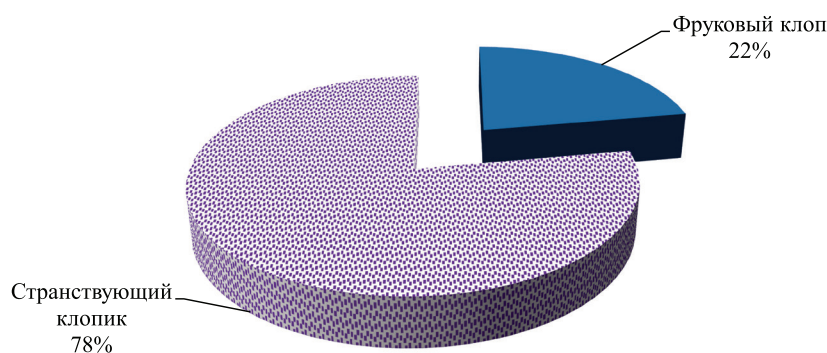


Рис. 1. Видовой состав клопов в фазу кущения озимой пшеницы
Fig. 1. Species composition of bugs in a tillering stage of winter wheat

Странствующий клопик предпочитает питаться зелеными частями растений, редко питается содержимым семян. Может развиваться до трех поколений в сезон.

В фазу выхода в трубку отмечалось 4 вида хлебных клопов (рис. 2). Наблюдалось появление имаго клопа вредной черепашки и элии остроголовой. Массовыми видами были элия остроголовая (55 %) и странствующий клопик (36 %).

Повышение численности элии остроголовой связано с ранним пробуждением из мест зимовки (необходима температура 5–10 °C). Зимовка может быть в лесной подстилке, так-

же отмечается перезимовка на полях озимых культур или злаковых трав под растительными остатками. Взрослые особи питаются преимущественно зелеными частями растений, личинки – несозревшими зернами.

В фазу колошения отмечалось 6 видов хлебных клопов (рис. 3). Появились имаго маврской черепашки и хлебного клопика. Увеличилось количество имаго фруктового клопа и клопа вредной черепашки. Снизилось количество элии остроголовой и странствующего клопика, однако они оставались самыми массовыми видами.

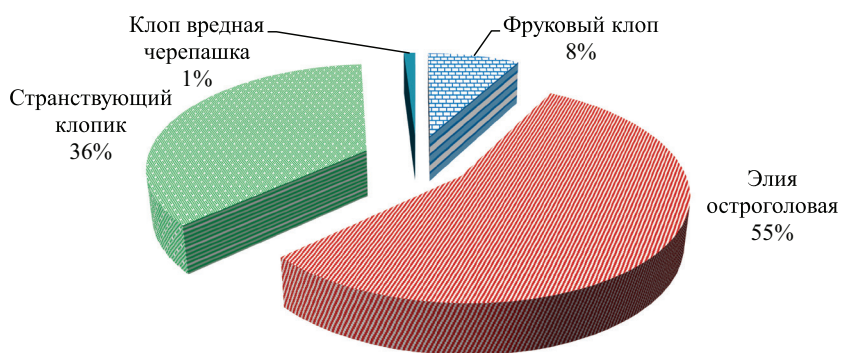


Рис. 2. Видовой состав клопов в фазу выход в трубку озимой пшеницы
Fig. 2. Species composition of bugs in a booting stage of winter wheat

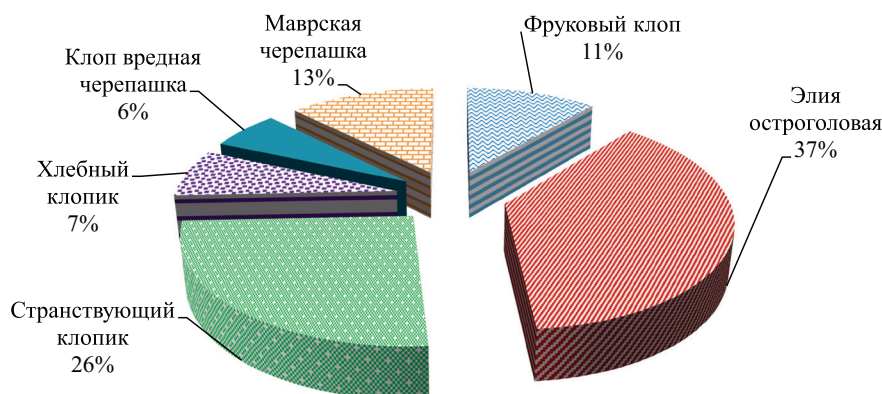


Рис. 3. Видовой состав клопов в фазу колошения озимой пшеницы
Fig. 3. Species composition of bugs in a heading stage of winter wheat

Во время цветения озимой пшеницы отмечалось 6 видов хлебных клопов (рис. 4). Увеличилась доля хлебного клопика, клопа вредной черепашки, элии остроголовой.

Снижалась доля странствующего клопика, фруктового клопика и маврской черепашки. Основным и массовым видом была элия остроголовая.

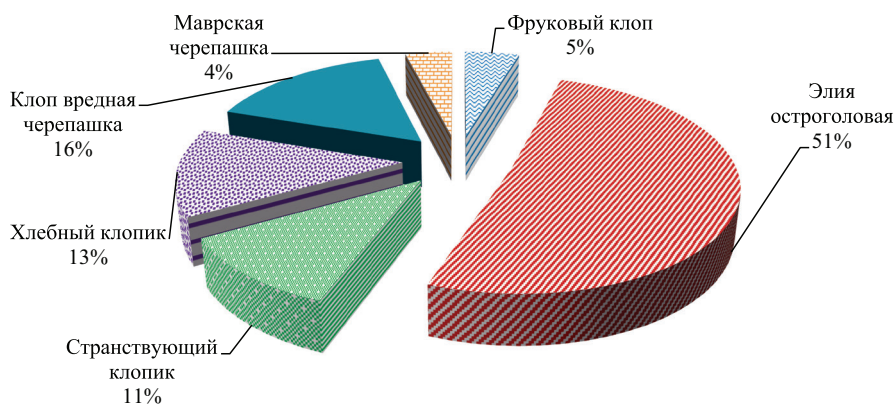


Рис. 4. Видовой состав клопов в фазу цветения озимой пшеницы
Fig. 4. Species composition of bugs in a flowering stage of winter wheat

В фазу молочной спелости увеличилась доля клопа вредная черепашка, хлебного клопика и маврской черепашки, снижалась доля элии остроголовой, странствующего клопика,

фруктового клопа (рис. 5). Основным распространенным видом был клоп вредная черепашка.

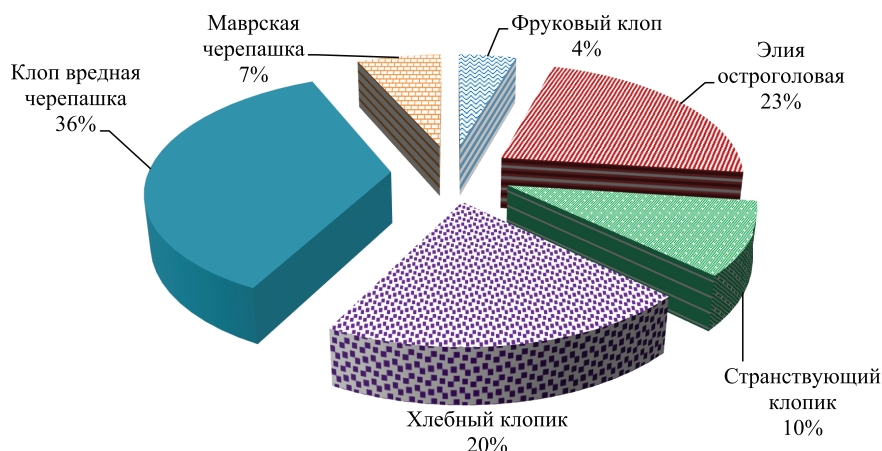


Рис. 5. Видовой состав клопов в фазу молочной спелости озимой пшеницы
Fig. 5. Species composition of bugs in a milk ripe stage of winter wheat

В период восковой спелости зерна озимой пшеницы увеличилась доля клопа вредной черепашки, фруктового клопа, хлебного клопика

(рис. 6). Снижалась доля маврской черепашки, странствующего клопика, элии остроголовой. Массовым видом был клоп вредная черепашка.

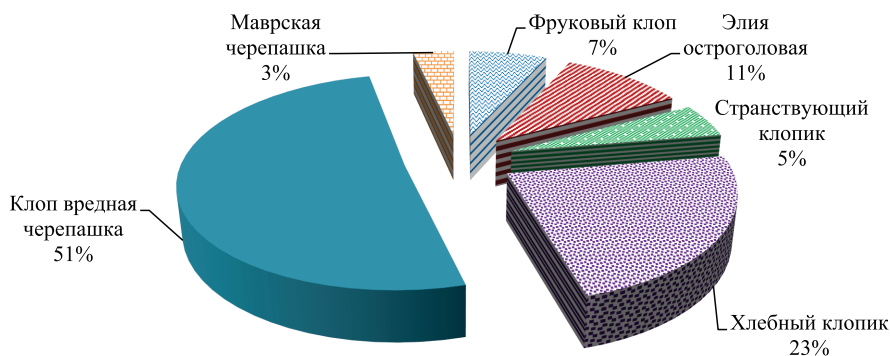


Рис. 6. Видовой состав клопов в фазу восковой спелости озимой пшеницы
Fig. 6. Species composition of bugs in a wax ripe stage of winter wheat

В фазу полной спелости увеличилась доля фруктового клопа, элии остроголовой, маврской черепашки (рис. 7). Снижалась доля хлеб-

ного и странствующего клопиков. Массовым видом был клоп вредная черепашка.

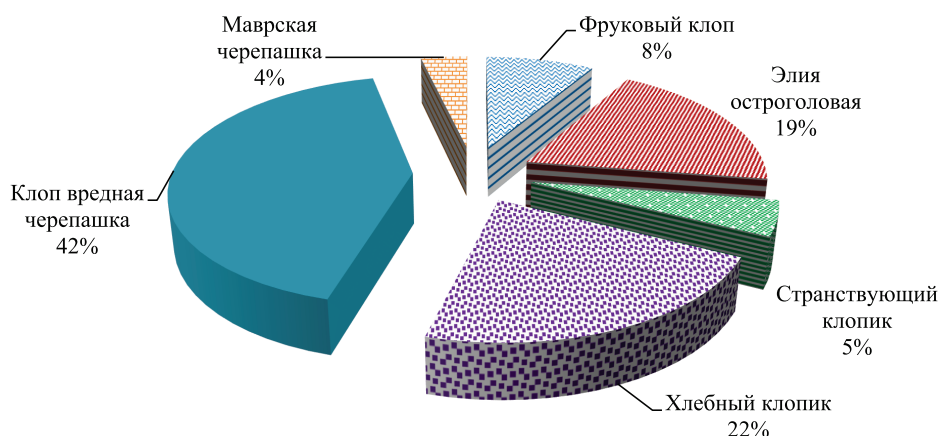


Рис. 7. Видовой состав клопов в фазу полной спелости озимой пшеницы
Fig. 7. Species composition of bugs in a dead ripe stage of winter wheat

Увеличение доли клопа вредной черепашки в период от молочной спелости до восковой

спелости связано с подъемом личинок с нижних частей растений к колосу для питания.

Питание личинок последних возрастов совпадает с периодом колошения и продолжается до конца восковой спелости озимой пшеницы.

Выводы. Хлебные клопы относятся к основным фитофагам с колюще-сосущим ротовым аппаратом в агроценозе озимой пшеницы. В лесостепной зоне Самарской области отмечалось 6 видов хлебных клопов, клоп вредная черепашка, маврская черепашка, элия остроголовая, хлебный клопик, странствующий клопик, фруктовый клоп. Соотношение видов хлебных клопов в агроценозе озимой пшеницы изменялось в зависимости от фенофаз развития культуры.

В весенне-летний период развития озимой пшеницы в фазу кущения основными видами клопов были странствующий клопик и фруктовый клоп. К фазе выхода в трубку отмечалось

уже 4 вида хлебных клопов: странствующий клопик, фруктовый клоп, клоп вредная черепашка, элия остроголовая. С фазы колошения до фазы полной спелости отмечалось 6 видов хлебных клопов. В фазы колошения и цветения доминировала элия остроголовая, в фазы молочной, восковой, полной спелости основным видом был клоп вредная черепашка. Во все фазы (кущение – полная спелость) развития озимой пшеницы основным видом были странствующий клопик и фруктовый клоп.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема № FMRW-2022-0017).

Библиографический список

1. Каплин В. Г. Мониторинг энтомокомплексов мягкой озимой пшеницы в лесостепи Самарской области // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3. С. 10–15. DOI: 10.12737/20327
2. Капусткина А. В. Оценка устойчивости зерна различных видов пшеницы к повреждению клопов рода *Eurygaster* L. (Hemiptera, Scutelleridae) // Зерновое хозяйство России. 2023. № 4. С. 102–108. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-102-108
3. Конарев А. В. Пищеварительные гидролазы пшеничных клопов: свойства, значение и возможные способы ограничения их активности // Вестник защиты растений. 2020. № 103(2). С. 65–86. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-2-13279
4. Неймаровец В. В. Обзор рода *Eurygaster* (Hemiptera: Heteroptera: Scutelleridae) в России // Zootaxa. 2020. № 6. С. 501–539. DOI: 10.11646/zootaxa.4722.6.1
5. Шарапов И. И., Шарапова Ю. А. Динамика численности популяций пшеничного и хищных трипсов агроценоза озимой пшеницы в лесостепи Самарской области // Зерновое хозяйство России. 2024. № 2. С. 106–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-106-112
6. Dizlek H., Özer M. Improvement of physical, physicochemical, and rheological characteristics of sunn pest (*Eurygaster integriceps*) damaged wheat by blending // Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. 2016. Vol. 9(1), P. 31–39. DOI: 10.3920/QAS2015.0781
7. Gibicsár S., Keszthelyi S. Topographical Based Significance of Sap-Sucking Heteropteran in European Wheat Cultivations: A Systematic Review // Diversity. 2023. № 15. P. 1–14. DOI: 10.3390/d15010109
8. Sakka M. K., Athanassiou C. G. Population growth of stored product insects on wheat containing wheat bugs // Plant Diseases and Protection. 2022. Vol. 129, P. 1429–1436. DOI: 10.1007/s41348-022-00668-7
9. Torbica A. M., Mastilović J. S., Pojić M. M., Kevrešan Z. S. Effects of wheat bug (*Eurygaster* spp. and *Aelia* spp.) infestation in preharvest period on wheat technological quality and gluten composition // Scientific World Journal. 2014. P. 1–6. DOI: 10.1155/2014/148025
10. Vaccino P., Ingegno B. L., Pansa M. G., Coppa T., Tavella L. Common wheat and cereal bug interactions: kernel quality depletion and immunodetection of damage // Agricultural Science. 2017. Vol. 155(2), P. 193–204. DOI: 10.1017/S0021859616000162

References

1. Kaplin V. G. Monitoring entomokompleksov myagkoi ozimoi pshenitsy v lesostepi samarskoi oblasti [Monitoring of entomocomplexes of winter common wheat in the forest-steppe of the Samara region] // Izvestiya samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2016. № 3. S. 10–15. DOI: 10.12737/20327
2. Kapustkina A. V. Otsenka ustoichivosti zerna razlichnykh vidov pshenitsy k povrezhdeniyam klopov roda *Eurygaster* L. (Hemiptera, Scutelleridae) [Estimation of grain resistance of different wheat species to damage by *Eurygaster* L. (Hemiptera, Scutelleridae)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. № 4. S. 102–108. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-102-108
3. Konarev A. V. Pishchevaritel'nye gidrolazy pshenichnykh klopov: svoystva, znachenie i vozmozhnye sposoby ogranicheniya ikh aktivnosti [Digestive hydrolases of *Eurygaster integriceps*: properties, significance and possible ways to limit their activity] // Vestnik zashchity rastenii. 2020. № 103(2). S. 65–86. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-2-13279
4. Neimarovets V. V. Obzor roda *Eurygaster* (Hemiptera: Heteroptera: Scutelleridae) v Rossii [Review of the genus *Eurygaster* (Hemiptera: Heteroptera: Scutelleridae) in Russia] // Zootaxa. 2020. № 6. S. 501–539. DOI: 10.11646/zootaxa.4722.6.1
5. Sharapov I. I., Sharapova Yu. A. Dinamika chislennosti populyatsii pshenichnogo i khishchnykh tripsov agrotsenoza ozimoi pshenitsy v lesostepi Samarskoi oblasti [Dynamics of the population growth of wheat and predatory thrips in the winter wheat agrocenosis in the forest-steppe of the Samara region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. № 2. S. 106–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-106-112

6. Dizlek H., Özer M. Improvement of physical, physicochemical, and rheological characteristics of sunn pest (*Eurygaster integriceps*) damaged wheat by blending // Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. 2016. Vol. 9(1), P. 31–39. DOI: 10.3920/QAS2015.0781

7. Gibicsár S., Keszthelyi S. Topographical Based Significance of Sap-Sucking Heteropteran in European Wheat Cultivations: A Systematic Review // Diversity. 2023. № 15. P. 1–14. DOI: 10.3390/d15010109

8. Sakka M. K., Athanassiou C. G. Population growth of stored product insects on wheat containing wheat bugs // Plant Diseases and Protection. 2022. Vol. 129, P. 1429–1436. DOI: 10.1007/s41348-022-00668-7

9. Torbica A. M., Mastilović J. S., Pojić M. M., Kevrešan Z. S. Effects of wheat bug (*Eurygaster* spp. and *Aelia* spp.) infestation in preharvest period on wheat technological quality and gluten composition // Scientific World Journal. 2014. P. 1–6. DOI: 10.1155/2014/148025

10. Vaccino P., Ingegno B. L., Pansa M. G., Coppa T., Tavella L. Common wheat and cereal bug interactions: kernel quality depletion and immunodetection of damage // Agricultural Science. 2017. Vol. 155(2), P. 193–204. DOI: 10.1017/S0021859616000162

Поступила: 18.12.24; доработана после рецензирования: 23.01.25; принята к публикации: 28.01.25.

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. Шарапов И. И. – проведение систематических учетов численности хлебных клопов по фенофазам развития озимой пшеницы, определение видового состава, анализ данных и подготовка рукописи; Шарапова Ю. А. – определение видового состава, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.