
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
Т. 17, № 5. 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);
Шарова С. Ю. – тех. секретарь (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Баталова Г. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (Киров, Россия);
Беспалова Л. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Волкова Г. В. – чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, ФГБНУ «ФНЦБЗР» (Краснодар, Россия);
Гончаренко А. А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Давлетов Ф. А. – д-р с.-х. наук, Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия);
Долженко В. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);
Дубина Е. В. – д-р биол. наук, проф. РАН, ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодар, Россия);
Зезин Н. Н. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ 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 (категория К1),
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 27.10.2025

Дата выхода 28.10.2025. 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, № 5. 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);
Sharova S. Yu. – 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 (category K1)
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 27.10.2025
The date of the issue is 28.10.2025. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.
Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Гайнуллина К. П., Заикина Е. А., Кулуев Б. Р., Давлетов Ф. А. Анализ нуклеотидных последовательностей и уровней экспрессии гена <i>LEC1</i> у сортообразцов гороха с различным содержанием запасных белков семян	5
Ковтунов В. В., Костылев П. И., Ковтунова Н. А., Камбулов С. И., Шишова Е. А. Длина метелки у гибридов F_1 – F_2 сорго зернового в сравнении с родительскими формами	13
Лящева С. В., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н., Заворотина А. Д. Оптимизация отбора высокопродуктивных генотипов озимой мягкой пшеницы с использованием селекционных индексов	20
Лобунская И. А., Газе В. Л., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Костылев П. И., Иванисова А. С. Влияние засухи на формирование продуктивности сортов озимой твердой пшеницы	27
Маракаева Т. В. Применение молекулярно-генетических методов в селекции мелкосеменной чечевицы на пригодность к механизированной уборке	34
Регидин А. А., Горюнов К. Н. Оценка продуктивности и качества кормовой массы сортов и перспективных линий эспарцета	42
Шаболкина Е. Н., Долженко Д. О., Бишарев А. А., Калякулина И. А., Анисимкина Н. В. Оценка качества зерна ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья	46
Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Новые амилопектиновые самоопыленные линии подвида восковидной кукурузы	52
Шпигель А. Л., Юсов В. С., Потоцкая И. В. Урожайность и качество зерна образцов яровой твердой пшеницы питомника КАСИБ-22 в условиях Западной Сибири	58
Вожжова Н. Н., Марченко Д. М. Поиск аллеля устойчивости к пиренофорозу <i>Tsc2</i> в образцах озимой мягкой пшеницы	65

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Голубев А. С., Ткач А. С. Оценка эффективности осенней обработки посевов озимой пшеницы новым гербицидом Фомдос, КС	70
Казиметова Ф. М., Магомедов Н. Р., Абдуллаев А. А., Абдуллаев Ж. Н. Процесс фотосинтеза и урожайность перспективных сортов озимой мягкой пшеницы при разных уровнях азотного и фосфорного питания в условиях орошения	76
Гаджумаров Р. Г., Джандаров А. Н., Гоноченко А. В., Кузьминов С. А., Дридигер В. К. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от предшественников и сроков посева по технологии No-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края	83
Гулянов Ю. А. Цифровое сопровождение агротехнологий в земледелии Южного Урала	90
Тарчоков Х. Ш., Бжинаев Ф. Х., Чочаев М. М., Матаева О. Х. Урожайность новых сортов озимой пшеницы в зависимости от различных норм высева в условиях степной зоны КБР	98
Гонгало А. А., Реент В. В. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства чернозема южного слабогумусированного и урожайность в зоне недостаточного увлажнения	104

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Gainullina K. P., Zaikina E. A., Kuluev B. R., Davletov F. A. Analysis of nucleotide sequences and expression levels of the <i>LEC1</i> gene in pea varieties with different percentage of seed storage protein	5
Kovtunov V. V., Kostylev P. I., Kovtunova N. A., Kambulov S. I., Shishova E. A. Panicle length in grain sorghum hybrids F_1 – F_2 compared to parental forms	13
Lyasheva S. V., Kulevatova T. B., Zlobina L. N., Zavorotina A. D. Optimization of selection of highly productive winter common wheat genotypes using selection indices	20
Lobunskaya I. A., Gaze V. L., Cherpakova E. Yu., Yanovskaya N. V., Kostylev P. I., Ivanisova A. S. The effect of drought on productivity formation of winter durum wheat varieties	27
Marakaeva T. V. Application of molecular genetic methods in breeding of small-seeded lentils for suitability for mechanical harvesting	34
Regidin A. A., Goryunov K. N. Estimation of productivity and quality of forage of the sainfoin varieties and promising lines	42
Shabolkina E. N., Dolzhenko D. O., Bisharev A. A., Kalyakulina I. A., Anisimkina N. V. Estimation of the spring barley grain quality in the middle Volga region	46
Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S. New amylopectin self-pollinated lines of waxy maize subspecies	52
Shpigel A. L., Yusov V. S., Pototskaya I. V. Productivity and grain quality of spring durum wheat samples of the nursery KASIB-22 IN Western Siberia	58
Vozhzhova N. N., Marchenko D. M. Search for pyrenophorus resistance allele <i>Tsc2</i> in winter common wheat samples	65

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Golubev A. S., Tkach A. S. Estimation of the efficiency of autumn treatment of winter wheat crops with a new herbicide Fomdos, KS	70
Kazimetova F. M., Magomedov N. R., Abdullaev A. A., Abdullaev Zh. N. The process of photosynthesis and productivity of promising winter common wheat varieties at different nitrogen and phosphorus nutrition levels under irrigation	76
Gadzhimarov R. G., Dzhandarov A. N., Gonochenko A. V., Kuzminov S. A., Dridiger V. K. Winter wheat productivity and grain quality depending on forecrops and sowing dates using no-till technology in the unstable moisture region of the Stavropol territory	83
Gulyanov Yu. A. Digital support of agrotechnologies in the Southern Urals' agriculture	90
Tarchokov Kh. Sh., Bzhinaev F. Kh., Chochaev M. M., Mataeva O. Kh. Productivity of new winter wheat varieties depending on different seeding rates in the steppe regions of the KBR	98
Gongalo A. A., Reent V. V. A Cultivation technology effect on the agrophysical properties of low-humus southern blackearth and crop productivity in a zone of insufficient moisture	104

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.358:575.113:577.212.3

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-5-12

АНАЛИЗ НУКЛЕОТИДНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ И УРОВНЕЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА *LEC1* У СОРТООБРАЗЦОВ ГОРОХА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ СЕМЯН

К. П. Гайнуллина^{1,2}, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномики растений, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, кормовых культур и экологии почв, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

Е. А. Заикина¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории геномики растений, evisheva@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1070-0804;

Б. Р. Кулуев¹, доктор биологических наук, заведующий лабораторией геномики растений, kuluev@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-1564-164X;

Ф. А. Давлетов^{2,3}, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства зернобобовых и крупяных культур, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, кормовых культур и экологии почв, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X

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

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

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

Горох посевной является одним из лучших источников растительного белка, содержащего все незаменимые аминокислоты. Генетические детерминанты, контролирующие биосинтез и накопление запасных белков усемян гороха, в настоящее время остаются малоизученными. Известно, что данные процессы, наряду с развитием и созреванием семян, регулируются генами транскрипционных факторов *LEC1*, *LEC2*, *ABI3*, *FUS3*. В связи с этим целью нашего исследования стал анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *LEC1* и уровней его экспрессии у высоко- и низкobelковых сортообразцов для поиска молекулярных маркеров, ассоциированных с содержанием протеина в семенах гороха. Опыты проводили в 2021–2024 годах. Материалом исследования послужили 110 сортов и линий гороха из коллекции ВИР. Содержание запасных белков семян определяли по методу Бредфорда. Выделение ДНК проводили набором «Genomic DNA PurificationKit» («ThermoFisherScientific», США). Праймеры к гену *LEC1* были подобраны впервые с помощью программы «PrimerSelect» («DNASStar», США). Секвенирование выполняли на генетическом анализаторе «ABI Prism 3500» («AppliedBiosystems», США). Нуклеотидные последовательности анализировали с помощью программы «MegAlign» («DNASStar», США). В результате исследования нами были отобраны две группы, включающие 12 сортов и линий гороха с высоким ($23,5 \pm 0,4$ – $26,1 \pm 0,5$ %) и 10 – с низким ($18,0 \pm 0,3$ – $19,7 \pm 0,3$ %) содержанием белка в семенах. Сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей гена *LEC1* у высоко- и низкobelковых сортообразцов позволил выявить ранее не описанные однонуклеотидные замены в позициях 884 (G/A), 1041 (C/T), 1076 (C/T), 1201 (T/C), 1268 (G/T) п.н. и инсерцию в позиции 696/697 (C) п.н. Установлено, что на ранней стадии развития семян (5-е сутки после опыления) у большинства низкobelковых сортов и линий гороха уровни экспрессии гена транскрипционного фактора *LEC1* были достоверно выше, чем у высокобелковых.

Ключевые слова: *Pisumsativum* L., запасные белки семян, транскрипционные факторы, *LEC1*, генетический полиморфизм.

Для цитирования: Гайнуллина К. П., Заикина Е. А., Кулуев Б. Р., Давлетов Ф. А. Анализ нуклеотидных последовательностей и уровней экспрессии гена *LEC1* у сортообразцов гороха с различным содержанием запасных белков семян // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 5–12. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-5-12.



ANALYSIS OF NUCLEOTIDE SEQUENCES AND EXPRESSION LEVELS OF THE *LEC1* GENE IN PEA VARIETIES WITH DIFFERENT PERCENTAGE OF SEED STORAGE PROTEIN

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

E. A. Zaikina¹, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for plant genomics, evisheva@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1070-0804;

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

F. A. Davletov^{2,3}, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for breeding and primary seed production of legumes and groats, chief researcher of the laboratory for breeding and seed production of grain, leguminous, feed crops and soil ecology, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X

¹*Institute of Biochemistry and Genetics, a separate structural subdivision*

of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the RAS, 450054, Republic of Bashkortostan, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, lit. 1E

²*Experimental Station "Ufimskaya", a separate structural subdivision*

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

³*Bashkiria Research Institute of Agriculture, a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 450059, Republic of Bashkortostan, Ufa, RikhardZorge Str., 191*

Peas is one of the best sources of plant protein containing all essential amino acids. Genetic determinants that control biosynthesis and accumulation of seed storage proteins in peas currently remain poorly studied. It is known that these processes, along with seed development and maturation, are regulated by the genes of transcription factors *LEC1*, *LEC2*, *ABI3*, *FUS3*. In this regard, the purpose of the current study was to analyze the nucleotide sequences of the coding region of the *LEC1* gene and its expression levels in high- and low-protein varieties to identify molecular markers associated with protein percentage in pea seeds. The experiments were carried out in 2021–2024. The study material was 110 pea varieties and lines from the VIR collection. The percentage of seed storage protein was determined using the Bradford method. DNA was isolated using the Genomic DNA Purification Kit ("Thermo Fisher Scientific", USA). Primers for the *LEC1* gene were first selected using the PrimerSelect program ("DNASTar", USA). Sequencing was performed on an ABI Prism 3500 genetic analyzer ("Applied Biosystems", USA). Nucleotide sequences were analyzed using the MegAlign program ("DNASTar", USA). As a result, there have been selected two groups, including 12 pea varieties and lines with high ($23.5 \pm 0.4 - 26.1 \pm 0.5$ %) and 10 with low ($18.0 \pm 0.3 - 19.7 \pm 0.3$ %) protein percentage in seeds. Comparative analysis of the nucleotide sequences of the *LEC1* gene in high- and low-protein variety samples has allowed identifying previously undescribed single nucleotide substitutions at positions 884 (G/A), 1041 (C/T), 1076 (C/T), 1201 (T/C), 1268 (G/T) bp and an insertion at position 696/697 (C) bp. There has been found that at the early stage of seed development (the 5th day after pollination) of the most low-protein pea varieties and lines the expression levels of the gene of the transcription factor *LEC1* were significantly higher than in the high-protein pea varieties.

Keywords: *Pisumsativum L.*, seed storage protein, transcription factors, *LEC1*, genetic polymorphism.

Введение. В основе продовольственной безопасности каждой страны лежит обеспечение населения полноценными продуктами питания с оптимальным уровнем калорийности и содержания белка. Основным источником растительного протеина выступают зернобобовые культуры, среди которых наиболее распространённой является горох посевной (*Pisumsativum L.*) (Браилова и др., 2020). По посевным площадям зернового гороха Россия занимает второе место в мире, уступая лишь Канаде (Фадеева и Шурхаева, 2020). Широкое распространение гороха объясняется его высокой урожайностью, питательностью зерна, сбалансированностью аминокислотного состава, замечательными вкусовыми качествами (Голопятов и Кондрашин, 2020).

Тем не менее на большей территории нашей страны в условиях достаточно холодного климата, короткого светового дня и связанной с этим небольшой продолжительностью периода вегетации, во время которого сочетание метеорологических условий благоприятно

для развития растений, отмечается тенденция к снижению содержания ценного легкоусвояемого белка в семенах гороха (Клочков и др., 2019). В качестве современного подхода к решению данной проблемы может рассматриваться внедрение маркер-ориентированной селекции (MAS-селекции) для контроля наследования высокого содержания протеина в зерне гороха с помощью ДНК-маркеров. Однако генетические детерминанты, определяющие высокое содержание запасных белков в семенах данной зернобобовой культуры, остаются неизвестными (Гайнуллина и др., 2023). Их идентификация позволит значительно ускорить работу селекционеров по созданию высокобелковых сортов гороха в условиях изменяющегося климата.

Известно, что у гороха созревание семян и интенсивное накопление в них питательных веществ находится под контролем факторов транскрипции *LEC1*, *LEC2*, *FUS3* и *ABI3* (Malovichko et al., 2020). Однако механизмы регуляции данных процессов транскрипционны-

ми факторами у гороха все еще остаются малоизученными. Было установлено, что у *A. thaliana* транскрипционные факторы *LEC1* и *LEC1L* активируют синтез транскрипционных факторов *LEC2*, *FUSCA3* (*FUS3*) и *ABI3*, совместное действие которых стимулирует транскрипцию генов запасных белков семян (Vermaetal., 2022). Кроме того, эктопическая экспрессия гена *LEC1* у арабидопсиса приводит к индукции генов SSP (SeedStorageProteins – запасные белки семян) (Vetricietal., 2021). Для гороха информация о первичной структуре гена *LEC1* доступна в базе данных GenBank (X66368), что дает возможность подобрать праймеры и провести сравнительное изучение нуклеотидных последовательностей этого гена, а также уровней его экспрессии у сортов и линий, контрастно различающихся по содержанию запасных белков семян.

Целью исследования стал поиск молекулярных маркеров, ассоциированных с высоким содержанием протеина в семенах гороха. В задачи исследования входило: 1 – выделение высоко- и низкобелковых сортообразцов гороха посевного; 2 – сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *LEC1* у сортообразцов гороха, контрастно различающихся по содержанию запасных белков семян; 3 – изучение динамики экспрессии гена *LEC1* у высоко- и низкобелковых сортообразцов гороха на разных этапах развития семян.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в лаборатории геномики растений Института биохимии и генетики УФИЦ РАН в 2021–2024 годах. Материалом для исследования послужили 110 сортообразцов гороха посевного различного эколого-географического происхождения из коллекции генетических ресурсов зернобобовых культур ВИР.

Содержание протеина в семенах гороха определяли по методу Бредфорда (Bradford, 1976). ДНК выделяли из 5–7-дневных проростков набором «Genomic DNA PurificationKit» («ThermoFisherScientific», США). Для амплификации кодирующего участка гена *LEC1* размером 972 п.н. использовали праймеры Ps_LEC1_F 5'-ATAACAATACGACCACCCTCTCC-3' и Ps_LEC1_R 5'-ACAACATTAGCCTCTTCACCATTC-3' («Евроген», Россия), подобранные авторами впервые с помощью программы PrimerSelect («DNASar», США). Нуклеотидная последовательность данного гена взята из базы данных GenBank (EU825771.1). ПЦР проводили в амплификаторе «T-100» («Bio-Rad», США). Конечный объем реакционной смеси составлял 25 мкл и содержал 1 мкл раствора геномной ДНК, 12,5 мкл раствора DreamTaq™ PCR MasterMix (2x) («ThermoFisherScientific», США), по 1 мкл каждого праймера и 9,5 мкл стерильной воды («Диаэм», Россия). Амплификацию проводили по следующей программе: начальная денатурация при 95 °C – 3 мин; 40 циклов: денатурация при 95 °C – 30 с, отжиг праймеров при 55 °C –

40 с, элонгация при 72 °C – 1 мин 10 с; конечная элонгация при 72 °C – 10 мин. Продукты амплификации разделяли методом горизонтального электрофореза в камере Sub-Cell GT («Bio-Rad», США) в 1%-магарозном геле в течение 1 ч при напряжении 120 В. Визуализацию и документирование результатов электрофореза осуществляли в гель-документирующей системе GelDoc™ EZ System («Bio-Rad», США) с помощью программного обеспечения ImageLab™ Software. Перед секвенированием полученные ампликоны очищали набором реагентов «diaGene» («Диаэм», Россия).

Количественное определение содержания мРНК (после конверсии в кДНК) гена *LEC1* проводили методом количественной ОТ-ПЦР в режиме реального времени в присутствии интеркалирующего красителя SYBR Green I в термоциклере Rotor-Gene™ 6000 («CorbettResearch», Австралия). Последовательности праймеров для ОТ-ПЦР были подобраны впервые с помощью программы PrimerSelect (DNASar, США): Ps_LEC1_RT_F 5'-CGGGTTTACGTTCTTCATC-3' и Ps_LEC1_RT_R 5'-TATCACAACATTAGCCTCTTCAC-3' («Евроген», Россия). Размер ПЦР-продукта составил 250 п.н. В качестве стандарта использовали мРНК гена в-тубулина, уровень экспрессии которого принимали за 100%.

Секвенирование проводили в конечном объеме реакционной смеси 10 мкл, содержащей 1 мкл праймера, 1 мкл очищенной ДНК-матрицы, 7,5 мкл стерильной деионизированной воды и 0,5 мкл BigDyeTerminator v3.1 («AppliedBiosystems», США). Последовательность циклов секвенирующей реакции была следующей: денатурация при 96 °C в течение 10 с, отжиг праймера при Tm в течение 5 с и элонгация при 60 °C в течение 4 мин для всех 30 циклов. Флуоресцентно меченые продукты амплификации анализировали с использованием генетического анализатора ABI Prism 3500 («AppliedBiosystems», США). Секвенирование исследуемого участка гена *LEC1* каждого сортообразца проводили с двух концов при помощи прямого и обратного праймеров в трех биологических и двух технических повторностях. Далее для каждого сортообразца путем выравнивания полученных нуклеотидных последовательностей было составлено по одной консенсусной последовательности с использованием программы MegAlign («DNASar, США»). Также с помощью данной программы выполняли компьютерный анализ нуклеотидных последовательностей, нумерацию нуклеотидов осуществляли по референсному гену *LEC1* из GenBank. Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием программы MicrosoftExcel.

Результаты и их обсуждение. Содержание протеина в семенах гороха мировой коллекции составляет 15,8–32,1 % (Бобков и Уварова, 2021). В 2021–2024 гг. среди 110 изученных нами сортообразцов гороха различного эко-

лого-географического происхождения было выделено 12 сортов и линий с наибольшим (18,0±0,3 – 19,7±0,3 %) содержанием белка в семенах (табл. 1). (23,5±0,4 – 26,1±0,5%) и 10 – с наименьшим

Таблица 1. Характеристика сортообразцов гороха с достоверно ($p<0,05$) более высоким и низким содержанием запасных белков семян (в среднем за 2021–2024 гг.)
Table 1. Characteristics of pea varieties with significantly ($p<0,05$) higher and lower percentage of seed storage protein (mean in 2021–2024)

№	Каталожный номер ВИР	Сорт, линия	Происхождение	Содержание белка в семенах
Высокобелковые сортообразцы				
1	K-9774	Степняк	Россия, Самарская обл.	23,5±0,4%
2	K-10224	Асс 339	Сирия	23,5±0,4%
3	K-1768	Штамбовый Мальцева	Россия, Воронежская обл.	23,7±0,3%
4	K-9407	Аванс	Россия, Алтайский край	23,7±0,4%
5	K-9432	Эффектный	Украина	26,1±0,5%
6	K-9457	3698/04	Россия, Тюменская обл.	24,1±0,4%
7	K-9524	–	Франция	25,0±0,3%
8	K-8788	Орел-326	Россия, Орловская обл.	23,7±0,4%
9	K-8793	Орел-332	Россия, Орловская обл.	23,7±0,3%
10	K-9383	Северянин	Россия, Кировская обл.	23,8±0,4%
11	K-5459	Батрак	Россия, Орловская обл.	23,5±0,3%
12	K-6109	Cobri	Нидерланды	25,5±0,5%
Низкобелковые сортообразцы				
13	K-8613	Wav 27101	Англия	18,0±0,3%
14	K-8972	SH 91-6-5-1-1-5	Болгария	19,0±0,2%
15	K-9950	Chlorotica	Швеция	18,0±0,3%
16	K-9772	Фрегат	Россия, Татарстан	19,5±0,3%
17	K-3196	–	Турция	19,7±0,3%
18	K-7503	76-16-16	США	19,4±0,2%
19	K-8902	Ascona	Нидерланды	18,7±0,4%
20	K-9392	L-29201282	Австралия	18,6±0,3%
21	K-9393	L-29201428	Австралия	18,6±0,2%
22	K-9479	PeragisBeisaaterbse	Германия	19,7±0,3%

У сортообразцов, представленных в таблице 1, было проведено секвенирование, сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей и уровней экспрессии гена *LEC1*. В результате амплификации геномной ДНК

этих сортообразцов с праймерами, подобранными к кодирующему участку гена *LEC1*, были получены фрагменты размером около 972 п.н. (рис. 1).

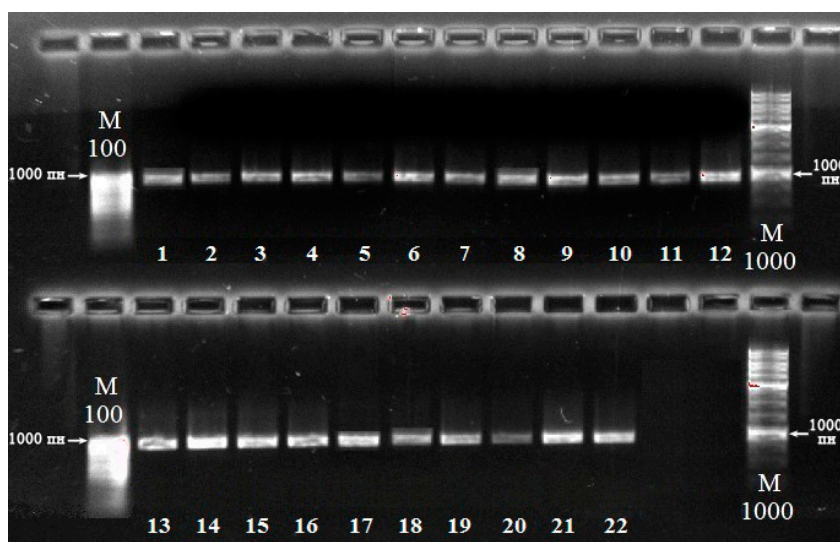


Рис. 1. Электрофоретические спектры, полученные при амплификации кодирующего участка гена *LEC1* у высоко- и низкобелковых сортов и линий гороха*

Fig. 1. Electrophoretic spectra obtained by amplifying the coding region of the *LEC1* gene in high- and low-protein pea varieties and lines*

Примечание. * – нумерация сортообразцов соответствует таблице 1. М 100 – ДНК-маркер 1000/10С («diaGene», Россия), М 1000 – ДНК-маркер High DNA Mass Ladder («Thermo Fisher Scientific», США).

После секвенирования ампликонов проводили выравнивание нуклеотидных последовательностей и их сравнительный анализ. В результате было обнаружено пять ранее

не описанных однонуклеотидных замен и одной однонуклеотидной инсерции, по которым наблюдались различия между изученными нами сортами (табл. 2).

Таблица 2. Результаты сравнительного анализа нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *LEC1* у высоко- и низкобелковых сортов и линий гороха
Table 2. Comparative analysis of nucleotide sequences of the coding region of the *LEC1* gene in high- and low-protein pea varieties and lines

Номер последовательности в GenBank, каталожный номер сорта/образца ВИР	Различия в нуклеотидных последовательностях, позиция (п.н.)*					
	696–697	884	1041	1076	1201	1268
EU825771.1	–	G	C	C	T	G
Высокобелковые сорта и линии						
К-9524 (Франция)	C***	A**	C	C	T	G
К-9457 (Тюменская область)	–	G	C	C	T	G
К-9383 (Северянин)	–	G	C	C	T	G
К-1768 (Штамбовый Мальцева)	C***	A**	C	C	T	G
К-9407 (Аванс)	–	G	C	C	T	G
К-5459 (Батрак)	–	G	C	C	T	G
К-6109 (Собри)	–	G	C	C	T	G
К-9432 (Эффектный)	–	G	C	C	T	G
К-8793 (Орел-332)	–	G	C	C	T	G
К-10224 (Сирия)	–	G	C	C	T	T***
К-8788 (Орел-326)	–	G	C	C	T	G
К-9774 (Степняк)	–	G	C	C	T	G
Низкобелковые сорта и линии						
К-9392 (Австралия)	–	A**	T***	T***	T	G
К-9393 (Австралия)	–	A**	T***	T***	T	G
К-9479 (PeragisBeisaaterbse)	–	G	C	C	T	G
К-9772 (Фрегат)	–	G	C	C	C***	G
К-7503 (США)	–	G	C	C	T	G
К-8972 (Болгария)	–	G	C	C	T	G
К-8613 (Великобритания)	–	G	C	C	T	G
К-9950 (Швеция)	–	G	C	C	T	G
К-8902 (Нидерланды)	–	G	C	C	T	G
К-3196 (Турция)	–	A**	C	C	T	G

Примечание. * – нумерация нуклеотидов приведена в соответствии с референсной последовательностью гена *LEC1* из GenBank (EU825771.1); ** – изменения в нуклеотидных последовательностях гена *LEC1*, обнаруженные как у высокобелковых, так и у низкобелковых сортов/образцов; *** – изменения в нуклеотидных последовательностях гена *LEC1*, по которым сорта/образцы с высоким и низким содержанием белка отличались друг от друга.

Выявленные нами однонуклеотидные замены в позициях 884 (G/A), 1041 (C/T), 1076 (C/T), 1201 (T/C), 1268 (G/T) п.н. и инсерция в позиции 696/697 (C) п.н. не влияли на содержание белка в семенах, однако три из них – 884A, 1041T и 1076T – встречались только у линий К-9392 и К-9393 австралийской селекции, что позволяет использовать их в качестве маркеров для экспресс-идентификации указанных линий.

Анализ уровней экспрессии гена *LEC1* в семенах изученных сортов/образцов гороха на 5-, 8- и 12-е сутки после опыления показал, что на ранней стадии развития семян у большинства (8 из 10) низкобелковых сортов и линий количественное содержание транскриптов данного гена было достоверно выше, чем у высокобелковых (рис. 2, а).

На 8-е сутки после опыления у всех двенадцати высокобелковых сортов/образцов наблюдалось повышение уровня экспрессии гена *LEC1*, причем у десяти из них очень зна-

чительное – на 90,5–312,5 %, и лишь у двух (К-9407 (Аванс) и К-9383 (Северянин)) – в меньшей степени (на 24,0 и 21,1 % соответственно). В то же время у половины изученных низкобелковых сортов/образцов произошло снижение количественного содержания транскриптов гена *LEC1* на 1,2–34,0 %. Среди оставшихся сортов/образцов из этой группы было отмечено повышение уровня экспрессии гена *LEC1* у сортов Ascona (К-8902), Chlorotica (К-9950), линий L-29201428 (К-9393), Wav 27101 (К-8613) на 2,1–57,9 % и только у одного образца – на 177,8 % (К-9772 (Фрегат)) (рис. 2, б).

На 12-е сутки после опыления в обеих группах сортов/образцов наблюдалось снижение количественного содержания транскриптов гена *LEC1*. Исключение составили низкобелковые сорта/образцы Chlorotica (К-9950), Wav 27101 (К-8613) и высокобелковый сорт Северянин (К-9383), у которых уровень транскрипции изучаемого гена все ещё продолжал незначительно повышаться (на 6,4–16,0%) (рис. 3, в).

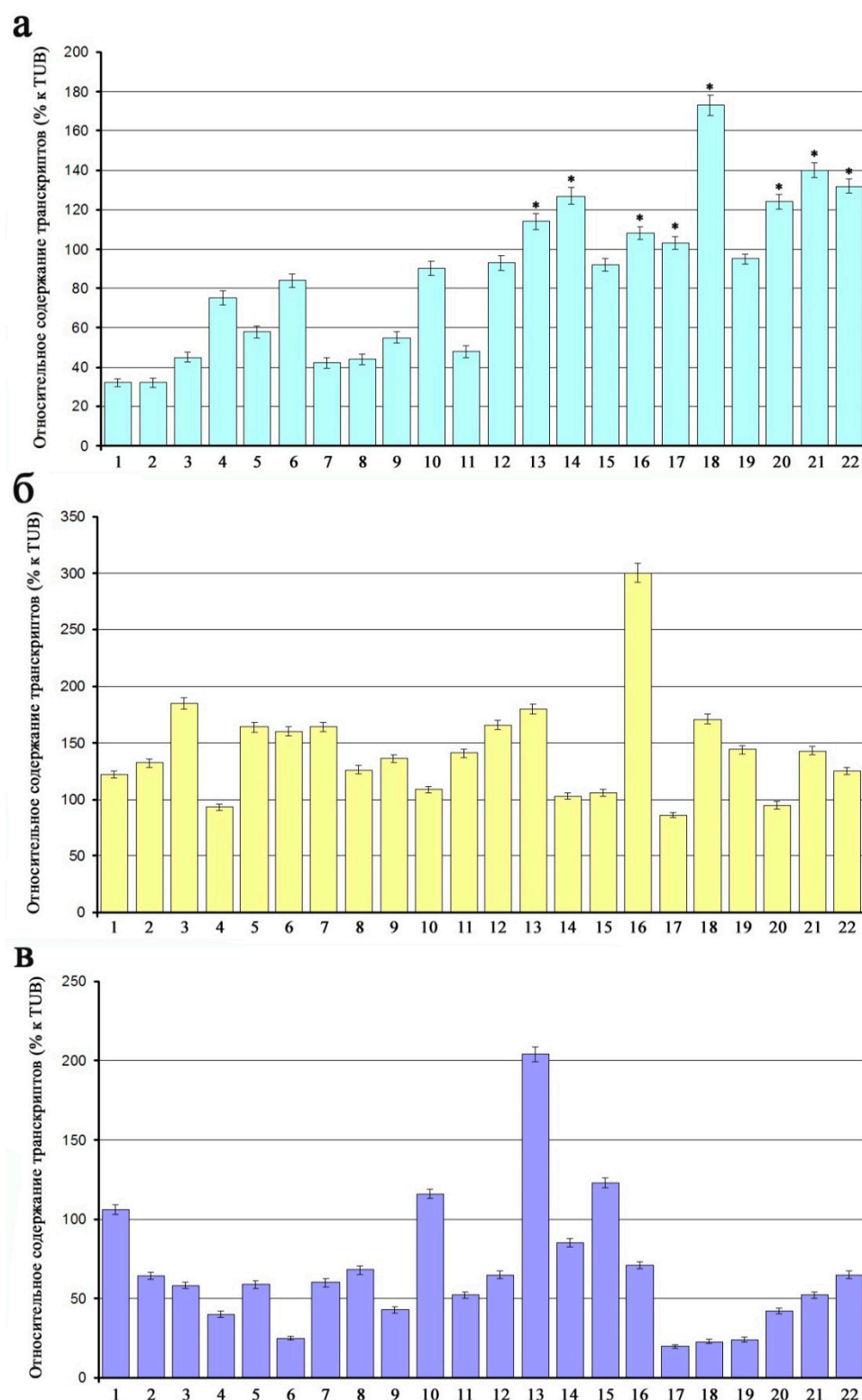


Рис. 2. Результаты анализа экспрессии гена *LEC1* у высоко- и низкobelковых сортообразцов гороха: а – на 5-е сутки после опыления, б – на 8-е сутки после опыления, в – на 12-е сутки после опыления*

Fig. 2. Analysis of the expression of the *LEC1* gene in high- and low-protein pea varieties: а – on the 5th day after pollination, б – on the 8th day after pollination, с – on the 12th day after pollination*

Примечание. * – нумерация сортообразцов соответствует таблице 1. Звездочкой обозначены достоверные различия на 5%-м уровне значимости.

Выводы. В результате сравнительного анализа нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена транскрипционного фактора *LEC1* усортообразцов гороха, контрастно

различающихся по способности к биосинтезу и накоплению запасных белков семян, выявлены ранее не описанные одонуклеотидные замены в позициях 884 (G/A), 1041 (C/T),

1076 (C/T), 1201 (T/C), 1268 (G/T) п.н. и инсерция в позиции 696/697 (C) п.н. Анализ уровней экспрессии гена *LEC1* в семенах гороха на раннем этапе их развития показал достоверные различия в количественном содержании транскриптов данного гена между высоко- и низкобелковыми сортаобразцами. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологий молекулярного анализа

для идентификации высокобелковых генотипов гороха посевного.

Финансирование.

Исследование Кулуева Б. Р., Заикиной Е. А. выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № 1022040500031-4, работы Гайнуллиной К. П., Давлетова Ф. А. поддержаны грантом Минобрнауки России № 075-15-2025-180 от 17 апреля 2025 года.

Библиографический список

1. Бобков С. В., Уварова О. В. Накопление запасных веществ в семенах дикого и культурного гороха // Земледелие. 2021. № 4. С. 24–27. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10406
2. Браилова И. С., Филатова И. А., Юрьева Н. И., Белоусова Ю. В. Оценка перспективных сортобразцов гороха по качеству и взаимосвязь биохимических показателей с урожайностью и массой 1000 зерен // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 3(35). С. 20–25. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11180
3. Гайнуллина К. П., Румянцев С. Д., Давлетов Ф. А., Кулуев Б. Р. Анализ нуклеотидных последовательностей кодирующего участка гена *ABI3* у сортобразцов гороха с различным содержанием запасных белков семян // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 2. С. 34–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-34-40
4. Голопяттов М. Т., Кондрашин Б. С. Качество зерна сортов гороха, различающихся по архитектонике листового аппарата, в зависимости от уровня применения минеральных удобрений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 1(33). С. 24–29. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11150
5. Ключков А. В., Соломко О. Б., Ключкова О. С. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 101–105.
6. Фадеева А. Н., Шурхаева К. Д. Адаптивные свойства сортов гороха селекции Татарского НИИСХ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 5–14. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-5-14
7. Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analytical Biochemistry. 1976. № 72(1–2). P. 248–254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999
8. Malovichko Y. V., Shtark O. Y., Vasileva E. N., Nizhnikov A. A., Antonets K. S. Transcriptomic insights into mechanisms of early seed maturation in the garden pea (*Pisum sativum* L.) // Cells. 2020. № 9(3). P. 779–810. DOI: 10.3390/cells9030779
9. Verma S., Attuluri V. P. S., Robert H. S. Transcriptional control of Arabidopsis seed development // Planta. 2022. Vol. 255, Article number: 90. DOI: 10.1007/s00425-022-03870-x
10. Vetrici M. A., Yevtushenko D. P., Misra S. Overexpression of douglas-fir *LEAFY COTYLEDON1* (*PmLEC1*) in *Arabidopsis* induces embryonic programs and embryo-like structures in the *lec1-1* mutant but not in wild type plants // Plants. 2021. № 10(8). Article number: 1526. DOI: 10.3390/plants10081526

References

1. Bobkov S. V., Uvarova O. V. Nakoplenie zapasnykh veshchestv v semenakh dikogo i kul'turnogo gorokha [Accumulation of reserve substances in seeds of wild and cultivated peas] // Zemledelie. 2021. № 4. S. 24–27. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10406
2. Brailova I. S., Filatova I. A., Yur'eva N. I., Belousova Yu. V. Otsenka perspektivnykh sortobraztsov gorokha po kachestvu i vzaimosvyaz' biokhimicheskikh pokazatelei s urozhainost'yu i massoi 1000 zeren [Estimation of promising pea varieties according to quality and correlation of biochemical indicators with productivity and 1000-grain weight] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 3(35). S. 20–25. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11180
3. Gainullina K. P., Rumyantsev S. D., Davletov F. A., Kuluev B. R. Analiz nukleotidnykh posledovatel'nostei kodiruyushchego uchastka gena *ABI3* u sortobraztsov gorokha s razlichnym soderzhaniem zapasnykh belkov semyan [Analysis of nucleotide sequences of the coding region of the *ABI3* gene in pea varieties with different percentage of seed reserve proteins] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 2. S. 34–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-85-2-34-40
4. Golopyatov M. T., Kondrashin B. S. Kachestvo zerna sortov gorokha, razlichayushchikhsya po arkhitektonike listovogo apparata, v zavisimosti ot urovnya primeneniya mineral'nykh udobrenii [Grain quality of pea varieties differing in the architectonics of the foliar apparatus, depending on the level of application of mineral fertilizers] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 1(33). S. 24–29. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11150
5. Klochkov A. V., Solomko O. B., Klochkova O. S. Vliyanie pogodnykh uslovii na urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [The effect of weather conditions on productivity of agricultural crops] // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2019. № 2. S. 101–105.
6. Fadeeva A. N., Shurkhaeva K. D. Adaptivnye svoistva sortov gorokha seleksii Tatarskogo NIISKH [Adaptive properties of pea varieties developed by the Tatar RIA -14] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 4(40). S. 5–14. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-5-14
7. Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analytical Biochemistry. 1976. № 72(1–2). P. 248–254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999

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

9. Verma S., Attuluri V. P. S., Robert H. S. Transcriptional control of Arabidopsis seed development // Planta. 2022. Vol. 255, Article number: 90. DOI: 10.1007/s00425-022-03870-x

10. Vetrici M. A., Yevtushenko D. P., Misra S. Overexpression of douglas-fir *LEAFY COTYLEDON1* (*PmLEC1*) in *Arabidopsis* induces embryonic programs and embryo-like structures in the *lec1-1* mutant but not in wild type plants // Plants. 2021. № 10(8). Article number: 1526. DOI: 10.3390/plants10081526

Поступила: 22.05.25; доработана после рецензирования: 23.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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. Кулуев Б. Р. – концептуализация исследования; Гайнуллина К. П., Заикина Е. А. – выполнение опытов и сбор данных; Давлетов Ф. А., Гайнулина К. П. – анализ данных и их интерпретация; Гайнуллина К. П. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ДЛИНА МЕТЕЛКИ У ГИБРИДОВ F_1 – F_2 СОРГО ЗЕРНОВОГО В СРАВНЕНИИ С РОДИТЕЛЬСКИМИ ФОРМАМИ

В. В. Ковтунов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, доцент кафедры «Агрономия», kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

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;

Н. А. Ковтунова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

С. И. Камбулов^{1,2}, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», kambulov.s@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8712-1478;

Е. А. Шишова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, shischovae@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,

344000, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 2

У сорго зернового одним из признаков, определяющих урожайность зерна, является размер метелки. Несмотря на свою важность для урожайности и адаптации, генетический контроль морфологии метелки до конца не изучен. Следовательно, знание генетической основы архитектуры соцветий сорго и его компонентов может дополнить усилия селекционеров по улучшению сорго. В связи с этим целью исследований являлось определение величины гетерозиса и типов наследования признака «длина метелки», а также число генов, контролирующего данный признак, у гибридов первого и второго поколения в комбинациях сорго зернового, полученных между сортами, далекими по географическому происхождению. Исследования проводили в условиях южной зоны Ростовской области (г. Зерноград) в трехпольном научном севообороте лаборатории селекции и семеноводства сорго ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве объекта исследований использованы родительские формы, а также гибриды первого и второго поколений сорго зернового. В гибридизацию были включены сорта Атаман и Лучистое селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Россия), а также сорта из Республики Уганда (Восточная Африка) Seso 1 и Narosorg 1. Проведенные исследования позволили установить закономерности наследования и проявление гетерозиса по признаку «длина метелки» у гибридов F_1 и F_2 , полученных на фертильной основе. Определено, что значения истинного гетерозиса варьируют от 0 до 30,8 %, а гипотетического – от 14,3 до 33,3 %. Признак наследуется по типу сверхдоминирования ($h_r = 1,3$ – $17,0$) и полного доминирования больших значений ($h_r = 1,0$). Гибридологический анализ гибридов во втором поколении позволил выявить различия родительских форм по одной паре генов.

Ключевые слова: сорго зерновое, сорт, родительская форма, гибрид, наследование, длина метелки, гетерозис.

Для цитирования: Ковтунов В. В., Костылев П. И., Ковтунова Н. А., Камбулов С. И., Шишова Е. А. Длина метелки у гибридов F_1 – F_2 сорго зернового в сравнении с родительскими формами // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 13–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-13-19.



PANICLE LENGTH IN GRAIN SORGHUM HYBRIDS F_1 – F_2 COMPARED TO PARENTAL FORMS

V. V. Kovtunov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, associate professor of the department "Agronomy", kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

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;

N. A. Kovtunova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

S. I. Kambulov^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, main researcher of the department of plant breeding mechanization, professor of the department of technologies and equipment for processing of AIC products, kambulov.s@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8712-1478;

E. A. Shishova¹, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, shischovae@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University"

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

In grain sorghum, one of the traits that determines grain productivity is panicle size. Despite its importance for productivity and adaptation, the genetic control of panicle morphology is not fully studied. Therefore, knowledge of

the genetic basis of sorghum inflorescence architecture and its components can assist breeders' efforts to improve sorghum. In this regard, the purpose of the current study was to determine the magnitude of heterosis and the types of inheritance of the trait 'panicle length', as well as the number of genes controlling this trait, in hybrids of the first- and second-generation in grain sorghum combinations obtained between varieties distant in geographic origin. The study was conducted in the conditions of the southern part of the Rostov region (Zernograd) in three crop rotation sequences of the laboratory for sorghum breeding and seed production of the FSBSI "ARC "Donskoy". The objects of the study were parental forms, as well as hybrids of the first and second generation of grain sorghum. The hybridization included the varieties 'Ataman' and 'Luchistoye' developed by the FSBSI "ARC "Donskoy" (Russia), as well as the varieties 'Seso 1' and 'Narosorg 1' from the Republic of Uganda (East Africa). The conducted study allowed establishing the patterns of inheritance and manifestation of heterosis for the trait 'panicle length' in the hybrids F_1 and F_2 obtained on a fertile basis. There has been determined that the values of true heterosis vary from 0 to 30.8 %, and hypothetical heterosis ranges from 14.3 to 33.3 %. The trait is inherited according to the type of overdominance ($h_p = 1.3-17.0$) and complete dominance of large values ($h_p = 1.0$). Hybridological analysis of hybrids in the second generation allowed identifying differences in parental forms for one pair of genes.

Keywords: grain sorghum, variety, parental form, hybrid, inheritance, panicle length, heterosis.

Введение. Селекционная работа по созданию новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур ведется, как правило, для конкретных почвенно-климатических условий с учетом лимитирующих факторов среды (Кривошеев и Игнатьев, 2024). На юге Российской Федерации в зоне недостаточного увлажнения лимитирующим фактором является влагообеспеченность (Кривошеев и Шевченко, 2021). Сорго относится к числу наиболее важных сельскохозяйственных культур. Прежде всего это связано с его более высокой устойчивостью к жаре и засухе по сравнению с другими культурными растениями. Сорго менее чувствительно к неустойчивому влагообеспечению, типичному для полузасушливых зон (Gitz III et al., 2019; Капустин и др., 2023; Ковтунова и Ковтунов, 2024).

У сорго зернового одним из признаков, определяющих урожайность зерна, является размер соцветия – метелки. Оно состоит из главной оси и отходящих от нее ветвей первого, второго и последующего порядков (Wang et al., 2021). Метелки у сорго обладают более сильным ветвлением, чем метелки кукурузы и риса, а также значительно различаются по количеству, длине и углу первичных ветвей, форме и размеру (Li et al., 2020). Метелки сорго могут быть компактными или рыхлыми, до 50 см в длину и 30 см в ширину (Wang et al., 2021). Морфология метелки является важным критерием для классификации сорго. Лучшей перспективой в производстве обладают гибриды сорго с крупной прямостоячей рыхлой и хорошо выдвинутой из раструба верхнего листа метелкой (Капустин и др., 2019). По мнению Desmae et al. (2016), растения с рыхлыми метелками являются более мелкосеменными и менее урожайными. Однако компактные метелки более подвержены поражению вредителями и болезнями. В результате формы с рыхлыми метелками более распространены во влажных условиях, чтобы предотвратить плесневение зерна, а виды с компактными метелками в большей степени распространены в сухих условиях (Wang et al., 2021). Несмотря на свою важность для урожайности и адаптации, генетический контроль морфологии метелки до конца не изучен.

Следовательно, знание генетической основы архитектуры соцветий сорго и его компо-

нентов может дополнить усилия селекционеров по улучшению сорго.

Цель исследований – определить величину гетерозиса и типы наследования признака «длина метелки», а также число генов, контролирующих данный признак, у гибридов первого и второго поколений в комбинациях сорго зернового, полученных между сортами, далекими по географическому происхождению.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в условиях южной зоны Ростовской области (г. Зерноград) в трехпольном научном севообороте лаборатории селекции и семеноводства сорго ФГБНУ «АНЦ «Донской». Предшественник – озимая пшеница, годы исследований – 2020–2022-й.

Метеорологические условия в годы проведения исследований (2020–2022) были контрастны. Наибольшее количество осадков за вегетационный период (май–сентябрь) выпало в 2021 г. (273,1 мм), а 2020 г. (226,8 мм) и 2022 г. (168,0 мм) характеризовались недостаточной влагообеспеченностью (среднепогодное значение 267,8 мм). ГТК за период май–сентябрь: в 2020 г. – 0,68, в 2021 г. – 0,82, в 2022 г. – 0,52.

Объектом исследований являлись родительские формы (Атаман, Лучистое, Seso 1, Narosorg 1), а также гибриды первого и второго поколений (Атаман × Seso 1, Атаман × Narosorg 1, Лучистое × Seso 1, Лучистое × Narosorg 1) сорго зернового.

Посев проводили во II декаде мая селекционной сеялкой Клен-4,2 с нормой высева 280 тыс. зерен на 1 гектар. Площадь делянки в питомнике гибридов первого поколения составляла 4,9 м², в питомнике гибридов второго поколения – 14,7 м².

Степень доминирования рассчитывали по формуле, описанной Мазер и Джинкс (1985), а истинный и гипотетический гетерозис – Д. С. Омаровым (1975).

Генетический анализ длины метелки у гибридов второго поколения проводили с использованием программы Полиген А.

Результаты и их обсуждение. Правильный подбор исходных родительских образцов для скрещивания считается одним из наиболее важных вопросов в практической селекционной работе. При планировании гибридизации

селекционеры опираются на различные принципы отбора родительских пар. Одним из них является принцип подбора пар по эколого-географическому происхождению. В данном случае проявление гетерозиса определяется генетическими различиями привлеченных в систему скрещиваний образцов, которые возникли вследствие географической изоляции.

В наших исследованиях в гибридизации были использованы в качестве материнских форм сорта Атаман и Лучистое селекции

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Россия), а в качестве отцовских форм – сорта Seso 1 и Narosorg 1 из Республики Уганда (Восточная Африка).

Оценка исходных родительских форм в 2020–2022 гг. показала, что минимальной длиной метелки характеризовался сорт сорго зернового Атаман (23 см). У сортов Seso 1 и Narosorg 1 средние значения данного признака за три года составили 25 см, а у сорта Лучистое – 28 см (табл. 1).

Таблица 1. Длина метелки родительских форм гибридов сорго зернового (2020–2022 гг.)
Table 1. Panicle length of parental forms of grain sorghum hybrids (2020–2022)

Родительская форма	Длина метелки, см			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее
Атаман	24	26	19	23
Лучистое	29	32	24	28
Seso 1	27	24	25	25
Narosorg 1	23	25	26	25

Проведенные скрещивания между сортами сорго зернового Атаман и Seso1 привели к созданию гибрида F_1 , который в условиях 2021 г. сформировал метелку длиной 33 см, что на 7 и 9 см соответственно больше в срав-

нении с исходными формами. Включение в программу скрещиваний сорта Narosorg 1 также позволило получить гибрид первого поколения, превышающий по длине метелки родительские образцы (рис. 1).



А



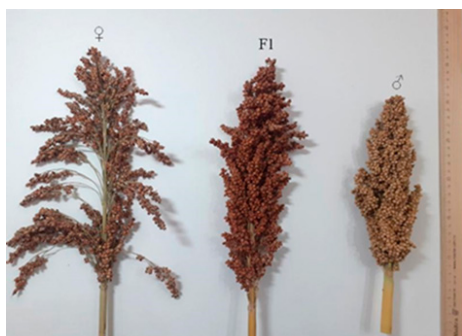
Б

Рис. 1. Метелки гибридных комбинаций первого поколения Атаман × Seso 1 (А) и Атаман × Narosorg 1 (Б) в сравнении с исходными образцами, 2021 год

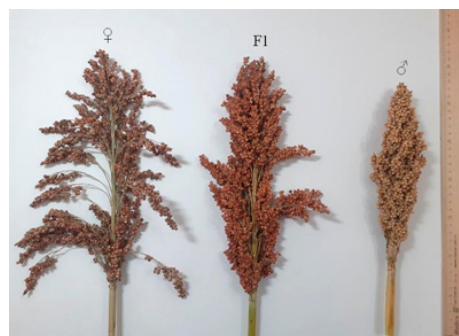
Fig. 1. Panicles of the hybrid combinations of the first generation 'Ataman × Seso 1' (A) and 'Ataman × Narosorg 1' (B) in comparison with the original samples, 2021

В результате использования в гибридизации отечественного сорта Лучистое и угандийского сорта Seso1 получена гибридная форма первого поколения с длиной метелки 32 см,

что на уровне материнской формы и больше отцовской на 8 см. Длина метелки у гибрида, полученного в результате скрещивания сортов Лучистое и Narosorg 1, достигала 33 см (рис. 2).



А



Б

Рис. 2. Метелки гибридных комбинаций первого поколения Лучистое × Seso 1 (А) и Лучистое × Narosorg 1 (Б) в сравнении с исходными образцами, 2021 год

Fig. 2. Panicles of the hybrid combinations of the first generation 'Luchistoe × Seso 1' (A) and 'Luchistoe × Narosorg 1' (B) in comparison with the original samples, 2021

На основе анализа значений истинного и гипотетического гетерозиса установлено варьирование этих показателей от 0 до 30,8 % и от 14,3 до 33,3 % соответственно. Наибольшие значения отмечены в комбинации

F₁ Атаман × Narosorg 1. Наследование признака проходило по типу сверхдоминирования ($h_p = 1,3-17,0$) и полного доминирования больших значений признака ($h_p = 1,0$) (табл. 2).

Таблица 2. Гетерозис и степень доминирования по признаку «длина метелки» у гибридов первого поколения сорго зернового, 2021 год

Table 2. Heterosis and dominance level according to the trait 'panicle length' in the grain sorghum hybrids of the first generation, 2021

Гибрид	♀	♂	F ₁	h _p	Г _{ист.} %	Г _{гип.} %
F ₁ Атаман × Seso 1	26	24	33	8,0	26,9	32,0
F ₁ Атаман × Narosorg 1	26	25	34	17,0	30,8	33,3
F ₁ Лучистое × Seso 1	32	24	32	1,0	0,0	14,3
F ₁ Лучистое × Narosorg 1	32	25	33	1,3	3,1	15,8

Изучение четырех гибридов F₂, полученных по топкроссной схеме, с помощью программы Полиген А позволило выявить типы наследования, количество аллельных различий генов, контролирующих признак «длина метелки», а также силу действия одного гена.

На основе проведенного гибридологического анализа в комбинации от скрещивания образцов Атаман (19 см) и Seso 1 (25 см) уста-

новлено моногибридное расщепление. У гибрида средняя длина метелки составила 21 см. Кривая распределения частот гибрида находилась в пределах изменчивости исходных образцов, доминирование было частичным отрицательным ($h_p = -0,33$), а расщепление происходило по моногенной схеме в соотношении 1:2:1 (рис. 3). Сила действия гена равна 5,7 см.

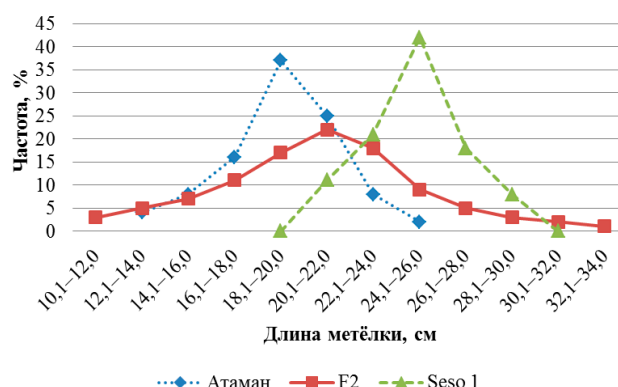


Рис. 3. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F₂ Атаман × Seso 1, 2022 год
Fig. 3. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F₂ 'Ataman × Seso 1', 2022

У образцов Атаман и Narosorg 1, различающихся по длине метелки на 10 см (средняя длина метелки сорта Атаман – 19 см, Narosorg 1 –

26 см), позволило выявить у гибрида второго поколения моногибридное расщепление в соотношении 1:3 (рис. 4).

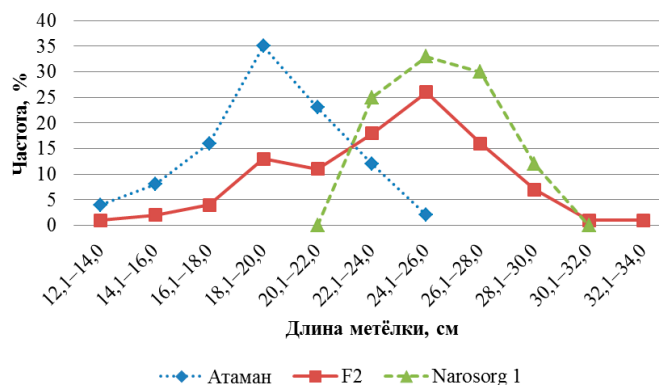


Рис. 4. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F₂ Атаман × Narosorg 1, 2022 год
Fig. 4. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F₂ 'Ataman × Narosorg 1', 2022

Такое соотношение свидетельствует о различии родительских форм по одной паре генов. Кривая распределения частот признака имела левостороннюю асимметрию ($As = -0,29$) и положительное доминирование ($hp = 0,36$). Сила одного гена соответствовала 6,4 см.

Гибридологический анализ потомства второго поколения Лучистое × Narosorg 1 показал,

что сорта Лучистое и Narosorg 1 различались между собой по аллельному состоянию одного гена. Кривая распределения частот признака гибрида была двухвершинная, а эти вершины находились в тех же классах, что и родительские формы (рис. 5).

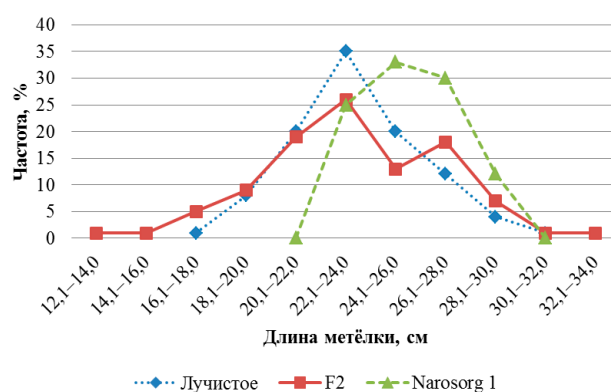


Рис. 5. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F_2 Лучистое × Narosorg 1, 2022 год
Fig. 5. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F_2 'Luchistoe × Narosorg 1', 2022

Среднее значение длины метелки у гибрида – 24 см, у сорта Лучистое – 24 см, у сорта Narosorg 1 – 26 см. Кривая распределения частот значений имеет правостороннюю асимметрию ($As = 0,71$), что свидетельствует о доминировании меньшей длины метелки. Степень доминирования составила $-1,06$. Наблюдали расщепление гибрида в соотношении 3:1, при этом 1/4 часть приходится на долю родителя с большим значением признака. Сила гена равнялась 2,0 см.

Подобный тип наследования отмечен у гибрида F_2 Лучистое × Seso 1 (рис. 6). Среднее зна-

чение гибрида – 22 см, сорта Лучистое – 24 см, Seso 1 – 25 см. Анализ этой гибридной популяции позволил выявить различия родительских форм по одной паре генов. Расщепление происходило в соотношении 3:1. Отрицательная степень доминирования ($hp = -4,13$) указывает на доминирование меньших значений признака и гибридную депрессию. Возможно, это связано с недоразвитием части метелок у растений гибридной популяции. Сила гена в этом случае равнялась 1,2 см.

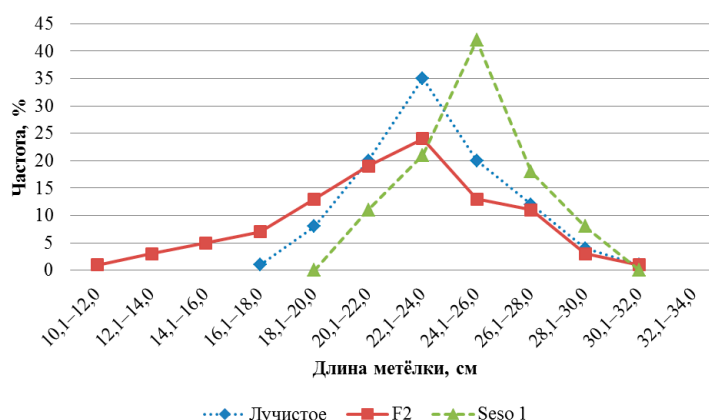


Рис. 6. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F_2 Лучистое × Seso 1, 2022 год
Fig. 6. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F_2 'Luchistoe × Seso 1', 2022

Таким образом, гибридологический анализ наследования признака «длина метелки» показал различия изученных родительских сортов по одной паре генов. При этом установлено

наличие как полного или частичного отрицательного доминирования, так и частичного положительного доминирования. Расщепление происходило в соотношении 3:1, 1:3 и 1:2:1.

Для дальнейшей селекционной работы из гибридных популяций второго поколения были отобраны формы с длиной метелки более 30 см.

Выводы.

1. Выявлены закономерности наследования и проявление гетерозиса по признаку «длина метелки» у гибридов F_1 , полученных на фертильной основе между далекими по географическому происхождению образцами. Значения истинного гетерозиса варьируют от 0 до 30,8 %, а гипотетического – от 14,3 до 33,3 %. Признак наследуется по типу сверхдоминиро-

вания ($h_r = 1,3-17,0$) и полного доминирования больших значений ($h_r = 1,0$).

2. Гибридологический анализ гибридов во втором поколении позволил выявить различия родительских форм по одной паре генов.

3. Для дальнейшей селекционной работы в гибридных комбинациях F_2 выделены образцы с длиной метелки более 30 см.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № 0505-2025-0010 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

- Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Хозяйственно ценные признаки новых гибридов (F_1) сорго сахарного и их родительских форм // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 61–71. DOI: 10.5281/zenodo.8271957
- Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Оценка исходного материала и наследование хозяйственно ценных признаков зернового сорго // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3(77). С. 83–66.
- Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Влияние уровня влагообеспеченности на урожайность и питательную ценность сорговых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54, № 2. С. 22–30. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-2-3
- Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Влияние количественных признаков на урожайность зерна гибридов кукурузы в зависимости от климатических условий // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 2. С. 30–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-30-35
- Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А. Устойчивость к водному стрессу новых самоопыленных линий и гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50
- Desmae H., Jordan D.R., Godwin I.D. Geographic patterns of phenotypic diversity in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landraces from North Eastern Ethiopia // African Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 11(33), P. 3111–3122. DOI: 10.5897/AJAR2016.11121
- Gitz III D. C., Baker J.T., Xin Z. G., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multiseed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106
- Li M., Shao M. R., Zeng D., Ju T., Kellogg E.A., Topp C.N. Comprehensive 3D phenotyping reveals continuous morphological variation across genetically diverse sorghum inflorescences // New Phytol. 2020. Vol. 226(6), P. 1873–1885. DOI: 10.1111/nph.16533
- Wang L., Upadhyaya H. D., Zheng J., Liu Y., Singh S. K., Gowda C. L. L., Kumar R., Zhu Y., Wang Y-H., Li J. Genome-Wide Association Mapping Identifies Novel Panicle Morphology Loci and Candidate Genes in Sorghum // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12, Article number: 743838. DOI: 10.3389/fpls.2021.743838

References

- Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Khozyaistvenno tsennyye priznaki novykh gibridov (F_1) sorgo sakharnogo i ikh roditel'skikh form [Economically valuable traits of new hybrids (F_1) of sweet sorghum and their parental forms] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2023. № 2(34). S. 61–71. DOI: 10.5281/zenodo.8271957
- Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Otsenka iskhodnogo materiala i nasledovanie khozyaistvenno tsennykh priznakov zernovogo sorgo [Estimation of initial material and inheritance of economically valuable traits of grain sorghum] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 3(77). S. 83–66.
- Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Vliyaniye urovnya vlagoobespechennosti na urozhainost' i pitatel'nyuy tsennost' sorgovykh kul'tur [The effect of moisture supply level on productivity and nutritional value of sorghum crops] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2024. T. 54, № 2. S. 22–30. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-2-3
- Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Vliyaniye kolichestvennykh priznakov na urozhainost' zerna gibridov kukuruzy v zavisimosti ot klimaticheskikh uslovii [The effect of quantitative traits on grain productivity of maize hybrids depending on weather conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 2. S. 30–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-30-35
- Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A. Ustoichivost' k vodnomu stressu novykh samoopylenykh linii i gibridov kukuruzy [Water stress resistance of new self-pollinated maize lines and hybrids] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). S. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50
- Desmae H., Jordan D. R., Godwin I. D. Geographic patterns of phenotypic diversity in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landraces from North Eastern Ethiopia // African Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 11(33), P. 3111–3122. DOI: 10.5897/AJAR2016.11121
- Gitz III D. C., Baker J.T., Xin Z. G., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multiseed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106

8. Li M., Shao M. R., Zeng D., Ju T., Kellogg E.A., Topp C.N. Comprehensive 3D phenotyping reveals continuous morphological variation across genetically diverse sorghum inflorescences // *New Phytol.* 2020. Vol. 226(6), P. 1873–1885. DOI: 10.1111/nph.16533

9. Wang L., Upadhyaya H.D., Zheng J., Liu Y., Singh S.K., Gowda C.L.L., Kumar R., Zhu Y., Wang Y-H., Li J. Genome-Wide Association Mapping Identifies Novel Panicle Morphology Loci and Candidate Genes in Sorghum // *Frontiers in Plant Science.* 2021. Vol. 12, Article number: 743838. DOI: 10.3389/fpls.2021.743838

Поступила: 05.06.25; доработана после рецензирования: 24.07.25; принята к публикации: 05.09.25.

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. Ковтунов В. В. – концептуализация исследований, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Костылев П. И. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Ковтунова Н. А. – выполнение опытов, сбор данных, подготовка рукописи; Камбулов С. И. – анализ данных и их интерпретация; Шишова Е. А. – выполнение опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОТБОРА ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ГЕНОТИПОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЛЕКЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

С. В. Лящева, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель селекционного центра, lyaschevasveta@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6790-0770;
Т. Б. Кулеватова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна, tanjakulevatova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9564-7127;
Л. Н. Злобина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории качества зерна, L9172193438@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3866-8060;
А. Д. Заворотина, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, antoninazavorotina@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-0092-8481
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»,
410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7; e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Цель настоящего исследования – оценка информативности селекционных индексов на основе морфометрических показателей и элементов продуктивности сортообразцов озимой мягкой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья. Полевые опыты проводили в селекционном севообороте ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», город Саратов. Климатическая зона – Нижнее Поволжье. Объектами исследования служили 14 сортов и перспективных линий озимой мягкой пшеницы урожая 2023 и 2024 годов. Почва – чернозем южный маломощный с пятнами солонцов, предшественник черный пар. Учет урожайности проводили в двух полевых повторениях. Применяли дисперсионный и корреляционный методы исследования. Изучали селекционные индексы: урожайности, аттракции, перспективности, налива, потенциала колоса, линейной плотности колоса, мексиканский, канадский, полтавский. Проводили ранжирование всех показателей от максимального значения до минимального. По метеоусловиям 2023 год в целом можно назвать благоприятным, а 2024-й – неблагоприятным. Высокий ранг урожайности выявлен у сортов Подруга, Анастасия, Калач 60, Жемчужина Поволжья и линии Санта/ Калач 60. Наблюдается высокая корреляция урожая зерна с индексом урожайности. На фоне неблагоприятных условий произрастания также отбираются сортообразцы с высокой аттракцией. В оба года исследований можно опираться на индексы урожайности, аттракции. В более благоприятных условиях отбор можно концентрировать также на индексах перспективности, потенциала колоса и налива. Такие индексы, как полтавский, канадский, линейной плотности, продуктивности растений следует учитывать в засушливых условиях, а в благоприятных опираться на них проблематично. При анализе среднерейтинговой оценки по селекционным индексам за два года выявлены 5 групп сортообразцов по времени их создания и высоте растений. Аналогичные схемы ранжирования изученных форм озимой пшеницы, с некоторыми изменениями, получены как в благоприятный, так и в засушливый год. Таким образом, основываясь на экспериментальных данных, можно утверждать, что использование селекционных индексов в комплексе, опираясь на выявленные корреляционные связи с урожайностью, даст положительный результат в селекции.

Ключевые слова: морфометрические показатели, озимая мягкая пшеница, селекция, сорт, селекционный индекс, продуктивность.

Для цитирования: Лящева С. В., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н., Заворотина А. Д. Оптимизация отбора высокопродуктивных генотипов озимой мягкой пшеницы с использованием селекционных индексов // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 20–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-20-26.



OPTIMIZATION OF SELECTION OF HIGHLY PRODUCTIVE WINTER COMMON WHEAT GENOTYPES USING SELECTION INDICES

S. V. Lyasheva, Candidate of Agricultural Sciences, head of the Breeding Center, lyaschevasveta@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6790-0770;
T. B. Kulevatova, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for grain quality, tanjakulevatova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9564-7127;
L. N. Zlobina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for grain quality, L9172193438@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3866-8060;
A. D. Zavorotina, senior researcher of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, antoninazavorotina@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-0092-8481
FSBSO “Federal Center of Agricultural Research of the South-East Region”
410010, Saratov, 7 Tulaikov Street; e-mail: raiser_saratov@mail.ru

The purpose of the current study was to estimate the informativeness of selection indices based on morphometric indicators and productivity elements of winter common wheat varieties in the Lower Volga region. Field trials were carried out in the selection crop rotation of the FSBSI “FARC of South-East”, Saratov. Climate zone was the Lower Volga region. The objects of the study were 14 varieties and promising lines of winter common wheat harvested in 2023 and 2024. The soil was low-power southern blackearth with solonetz patches; the wheat was sown black fallow. The productivity was recorded in two field repetitions. There were used dispersion and correlation methods of research. There were studied such selection indices as productivity, attraction, prospects, filling, ear potential, linear density

of a ear, Mexican, Canadian, Poltava. All indicators were ranked from maximum to minimum. According to weather conditions, 2023 could be called favorable in general, and 2024 unfavorable. High productivity rank was found in the varieties 'Podruga', 'Anastasiya', 'Kalach 60', 'Zhemchuzhina Povolzhya' and the line 'Santa/Kalach 60'. There is a high correlation between grain productivity and productivity index. Under unfavorable growing conditions, there have been also selected high-attraction varieties. In both years of research, one could rely on the productivity indices and attraction. Under more favorable conditions, selection could also be concentrated on indices of prospects, ear potential and filling. Such indices as Poltava, Canadian, linear density, plant productivity should be taken into account in arid conditions, since it is problematic to rely on them in favorable conditions. When analyzing the average rating estimation for selection indices for two years, there were identified 5 groups of variety samples according to the time of their development and plant height. Similar ranking schemes for the studied forms of winter wheat, with some changes, were obtained both in a favorable and an arid year. Thus, based on the experimental data, there can be argued that the use of selection indices in a complex, relying on the identified correlations with productivity, will give a positive result in breeding.

Keywords: *morphometric parameters, winter common wheat, breeding, variety, selection index, productivity.*

Введение. Известно, что селекция во многом определяет успех сельскохозяйственного производства: повышения урожайности и качества зерна путем внедрения новых современных сортов, замены старых. Главная задача селекционера – создание экологически пластичных и стабильных форм, которые смогут реализовывать свою потенциальную продуктивность и качество зерна в различных почвенно-климатических условиях (Михайленко и Драгавцев, 2010; Манукян и др., 2019; Малокозова и др., 2019). Получение современного высококачественного растительного материала невозможно без применения научных знаний, в том числе использования информативных признаков, нетрудоемких точных экспрессных методов, объективно характеризующих генотипы (Ковтун и Ковтун, 2015; Манукян и др., 2018). Это помогает эффективно вести отбор, способствует оптимизации всего селекционного процесса, повышает результативность работы. Одним из таких методов точной идентификации полезных свойств является применение селекционных индексов – интегрированных показателей комплексной оценки продуктивности, так как необходимо знать причинно-следственные отношения между компонентами, участвующими в формировании урожая (Кочерина и Драгавцев, 2008; Драгавцев, 2012; Воробьев и Воробьев, 2018; Парфенова и Псарева, 2021; Воробьев и Николаева, 2024). При расчете селекционного индекса учитывают как фенотипические, так и генотипические корреляции между признаками и компонентами индекса (Кочерина и Драгавцев, 2008; Драгавцев, 2012). В настоящее время получили распространение такие индексы, как мексиканский, аттракции, интенсивности, продуктивности колоса, налива зерна, канадский и многие другие (Тихонов, 2010; Плиско и Пакуль, 2017; Степанова и др., 2021; Воробьев и Николаева, 2024). По мере развития селекции как науки ученые создают, исследуют, доказывают информативность и внедряют в селекционный процесс лучшие новые комплексные величины, характеризующие физиолого-генетические системы, в том числе и по продуктивности (Мальцева и др., 2020). Для селекционных программ всегда отбираются такие показатели, которые:

1) слабо модифицируются в условиях селекционных посевов;

2) хорошо воспроизводятся в потомстве;

3) в достаточной степени дифференцируют анализируемый материал в соответствии с его достоинствами;

4) несут ценную информацию для селекционера независимо от условий формирования зерна.

Цель настоящего исследования – оценка информативности селекционных индексов на основе морфометрических показателей и элементов продуктивности сортообразцов озимой мягкой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследований.

Полевые опыты проводили в селекционном севообороте лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», город Саратов. Климатическая зона – Нижнее Поволжье; климат умеренно-континентальный. Объектами исследования служили 14 сортов и перспективных линий озимой мягкой пшеницы урожая 2023 и 2024 годов. Стандартный сорт – Подруга. Почвы – чернозем южный маломощный с пятнами солонцов; предшественник – черный пар, площадь делянки – 20 м², норма высева – 450 всхожих зерен на 1 м², ранневесеннее внесение минеральных удобрений в дозе N₃₀. Посев проводили в оптимальные для озимой мягкой пшеницы сроки, всходы были получены в течение 7 дней. Фенологические наблюдения, а также оценку фенотипической изменчивости элементов продуктивности осуществляли по общепринятым в селекционных учреждениях методикам. Учет урожайности и отбор снопового материала проводили в двух полевых повторениях питомника конкурсного сортоиспытания (КСИ). Определяли длину растения, подколосового междоузлия, главного колоса; массу зерна главного колоса, его озерненность, массу 1000 зерен. Рассчитывали и анализировали 10 селекционных индексов с дальнейшим ранжированием всех показателей от максимального значения (ранг 1) до минимального (ранг 14) и вычислением среднего ранга для каждого сортообразца в оба года исследования. Для усиления доказательной базы научных выводов применяли методы статистической обработки данных – дисперсионный и корреляционный.

№ п/п	Селекционный индекс	Схема расчета селекционного индекса
1	урожайности	отношение массы зерна (г) к общей сухой биомассе растения (г)
2	аттракции	отношение массы зерна с колоса (г) к массе соломы главного стебля (г)
3	перспективности	отношение массы 1000 зерен (г) к длине стебля (см)
4	налива	отношение массы 1000 зерен (г) к массе стебля (г)
5	потенциала колоса	отношение длины колоса (см) к высоте растения (см)
6	линейной плотности колоса	отношение количества зерен в колосе (шт.) к длине колоса (см)
7	мексиканский	отношение массы зерна с колоса (г) к высоте растения (см)
8	канадский	отношение массы зерна с колоса (г) к длине колоса (см)
9	полтавский	отношение массы зерна с колоса (г) к длине верхнего междоузлия (см)
10	продуктивности растений	отношение произведения количества зерен в колосе (шт.) на его массу (г) к длине колоса (см)

Погодные условия в годы проведения эксперимента значительно различались в осенний и весенне-летний периоды. Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК) – показатель влагообеспеченности территории в определенный период времени, рассчитанный по данным Саратовского Центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, позволяет охарактеризовать степень увлажнения полей селекционного севооборота. Осень 2023 г. характеризовалась недостатком осадков на фоне повышенных температур. Далее в 2024 г., после теплого апреля и достижения наиболее скороспелыми сортообразцами фазы отгиба флагового листа на 14 дней ранее среднесуточных сроков, сумма эффективных температур составила 298,3 °С, что в 1,63 раза превышало показатель 2023 г. (ГТК апреля 2024 г. – 0,3).

В течение первой декады мая было отмечено три волны возвратных морозов до –2–4 °С. Значимые различия сравниваемых лет с середины фазы стеблевания до фазы полного созревания связаны с влагообеспеченностью посевов. Май 2023 г. можно охарактеризовать как «засушливый» (ГТК 0,8), 2024-го – «экстремально сухой» (ГТК 0,2); июнь 2023 г. характеризуется как период «обеспеченного увлажнения» (ГТК 1,1), 2024-го – «засушливый» (ГТК 0,8) (табл. 1). По реакции растений на условия перезимовки в годы исследований различий не выявлено. В целом, в сравнении со среднесуточными данными, в регионе Нижнего Поволжья наблюдается тенденция к повышению температуры и нарастанию в течение вегетации озимой пшеницы неблагоприятных метеорологических явлений.

Таблица 1. Количество осадков и температура воздуха за период вегетации растений озимой пшеницы в сравнении с многолетними данными
Table 1. Amount of precipitation and air temperature during the vegetation period of winter wheat plants in comparison with long-term data

Год	Апрель		Май		Июнь	
	Мм; Т °С	Процент (%) от многолетних значений	Мм; Т °С	Процент (%) от многолетних значений	Мм; Т °С	Процент (%) от многолетних значений
Количество осадков						
2023	47,1	162	37,4	87,0	59,3	131,8
2024	12,3	42	6,3	15,0	56,4	125,0
Температура воздуха						
2023	11,1	168	16,2	108,0	18,3	94,3
2024	14,9	226	13,6	91,3	23,2	119,6

Результаты и их обсуждение. Селекционные индексы как маркеры для поиска ценных форм с заданными свойствами целесообразно использовать только при выявлении между ними тесных корреляционных связей, то есть использовать наиболее информативные – те, в состав которых входят признаки, связанные между собой достаточно высокой корреляционной зависимостью (>60 %). В этом случае селекционный индекс будет менее изменчив, чем составляющие его абсолютные величины. Целесообразно определять те из них, которые тесно сопряжены с продуктивностью в конкретном регионе, в нашем случае это

Нижнее Поволжье. Высокий ранг урожайности выявлен у сортов Подруга, Анастасия, Калач 60, Жемчужина Поволжья и линии Санта/ Калач 60 (табл. 2).

В связи с направленным отбором наиболее продуктивных форм одновременно с уменьшением длины стебля ожидаемо выявлена высокая корреляция урожая зерна с индексом урожайности. На фоне неблагоприятных условий произрастания также отбираются сортообразцы с высокой аттракцией. Увеличение мексиканского индекса связано с увеличением массы колоса с одновременным снижением длины стебля. Таким образом, в оба года исследования

можно опираться на индексы, представленные в таблице 3. Исключение составляет мексиканский индекс в 2024 г.; напомним, что 2024 г. был

особо исключительным по погодным условиям и данные, полученные в этом году, надо трактовать иначе.

Таблица 2. Урожайность сортов и линий озимой пшеницы (т/га)
Table 2. Productivity of winter wheat varieties and lines (t/ha)

№ п/п	Сорт, линия	Год урожая		\bar{X}	Ранг сорта по урожайности
		2023	2024		
1	Гостианум 237	3,99	2,15	3,07	13
2	Лютесценс 230	3,87	2,07	2,97	14
3	Губерния	5,31	2,93	4,12	6
4	Мироновская 808	5,11	2,83	3,97	8
5	Донская безостая	4,57	2,37	3,47	12
6	Саратовская 90	4,81	3,32	4,06	7
7	Жемчужина Поволжья	5,48	2,88	4,18	5
8	Саратовская 17	4,70	3,17	3,93	10
9	Анастасия	5,49	3,22	4,35	2
10	Калач 60	5,64	2,95	4,30	3
11	Подруга, st	5,44	3,30	4,37	1
12	Санта / Калач 60	5,24	3,20	4,22	4
13	Саратовская 17/ Ш2293 R 13 // Л 6641 h 407 Г 50	5,16	2,72	3,94	9
14	Саратовская 17/ Лига 1	5,07	2,68	3,88	11
F		15,365*	8,689*	3,695*	–
HCP		0,44	0,41	0,62	
CV, %		10,94	14,40	11,38	

Примечание. * – значимо на 5%-м уровне, F – критерий Фишера; HCP – наименьшая существенная разница; CV (%) – коэффициент сортовой вариации.

Таблица 3. Количественная выраженность селекционных индексов урожайности, аттракции и мексиканского; корреляционная взаимосвязь их с урожайностью (2023–2024 гг.)
Table 3. Quantitative expression of selection indices of productivity, attraction and Mexican; their correlation with productivity (2023–2024)

№ п/п	Сорт	Селекционный индекс								
		урожайности			аттракции			мексиканский		
		2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг
1	Гостианум 237	2,68	3,46	13	0,53	0,97	12	0,015	0,024	12
2	Лютесценс 230	3,03	3,50	12	0,66	1,01	11	0,026	0,028	11
3	Губерния	3,86	4,29	10	0,96	0,97	10	0,031	0,034	10
4	Мироновская 808	3,57	4,08	11	0,88	1,17	9	0,029	0,025	11
5	Донская безостая	3,93	4,33	7	1,02	1,28	7	0,043	0,042	6
6	Саратовская 90	3,73	4,68	5	0,99	1,46	5	0,033	0,057	4
7	Жемчужина Поволжья	3,86	4,33	9	1,02	1,36	6	0,041	0,040	8
8	Саратовская 17	4,01	4,51	4	1,09	1,38	4	0,039	0,048	5
9	Анастасия	4,18	4,19	6	1,08	1,22	7	0,039	0,043	7
10	Калач 60	3,96	4,56	4	1,10	1,46	3	0,042	0,075	2
11	Подруга, st	4,11	4,62	2	1,13	1,50	2	0,042	0,036	9
12	Санта / Калач 60	4,35	4,31	3	1,15	1,47	2	0,047	0,055	3
13	Сар.17/ Ш2293 R 13 // Л 6641 h 407 Г 50	3,96	4,89	1	1,06	1,71	1	0,051	0,075	1
14	Сар. 17/Лига 1	4,14	4,07	8	1,19	1,06	8	0,039	0,044	7
r		0,67**	0,71**	–	0,66**	0,55*	–	0,65*	0,39	–
CV, %		12,66	10,15	–	19,99	18,79	–	26,58	37,9	–
Коэффициент детерминации		0,45	0,50	–	0,44	0,30	–	0,42	0,15	–

Примечание. r – коэффициент корреляции; CV(%) – коэффициент сортовой вариации. То же в таблице 4, 5.

В более благоприятных условиях (2023 г.) отбор можно концентрировать также на индексах перспективности, потенциала колоса и налива. В этих условиях выявлена высокозначимая корреляция с урожаем зерна (табл. 4). Такие индексы, как полтавский, канадский, линейной плотности, продуктивности растений, следует учитывать в засушливых условиях,

а в благоприятных опираться на них проблематично (табл. 5).

Корректно определить потенциал сорта можно только основываясь на данных, характеризующих особенности приспособительных реакций генотипа, полученных в различных условиях произрастания.

Таблица 4. Количественная выраженность, коэффициенты корреляции и детерминации, сортовая вариация селекционных индексов: перспективности, потенциала колоса и налива (2023–2024 гг.)

Table 4. Quantitative expression, coefficients of correlation and determination, varietal variation of selection indices: prospects, ear potential and filling (2023–2024)

№ п/п	Сорт	Селекционный индекс								
		перспективности			потенциала колоса			налива		
		2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг
1	Гостианум 237	0,29	0,30	12	0,055	0,061	12	7,57	8,08	12
2	Лютесценс 230	0,32	0,35	11	0,060	0,080	11	5,75	7,91	14
3	Губерния	0,44	0,41	8	0,074	0,082	7	9,74	9,47	3
4	Мироновская 808 St	0,42	0,39	10	0,067	0,073	11	9,11	12,55	1
5	Донская безостая St	0,47	0,50	4	0,070	0,075	9	8,05	11,03	4
6	Саратовская 90 St	0,44	0,43	7	0,074	0,082	7	9,01	7,94	10
7	Жемчужина Поволжья	0,41	0,43	9	0,070	0,073	10	7,18	10,10	9
8	Саратовская 17	0,42	0,45	7	0,073	0,077	8	8,28	9,20	8
9	Анастасия	0,43	0,41	9	0,080	0,084	5	9,60	8,12	7
10	Калач 60	0,52	0,54	1	0,083	0,091	3	9,40	6,80	11
11	Подруга, st	0,49	0,43	6	0,079	0,082	6	8,77	9,48	6
12	Санта / Калач 60	0,57	0,45	3	0,100	0,081	1	10,26	8,24	5
13	Сар.17/ Ш2293 R 13 // Л 6641 h 407 Г 50	0,46	0,48	5	0,079	0,101	2	6,88	7,61	13
14	Сар. 17/Лига 1	0,48	0,57	2	0,083	0,084	4	10,21	9,40	
r		0,72**	0,29	–	0,68**	0,33	–	0,58*	-0,05	–
CV, %		16,36	16,07	–	14,62	11,42	–	15,64	16,87	–
Коэффициент детерминации		0,52	0,08	–	0,46	0,11	–	0,34	0,00	–

Таблица 5. Характеристика селекционных индексов полтавского, канадского, линейной плотности колоса и продуктивности растений (2023–2024 гг.)

Table 5. Characteristics of selection indices Poltava, Canadian, linear density of a ear and plant productivity (2023–2024)

№ п/п	Сорт	Селекционный индекс											
		полтавский			канадский			линейной плотности колоса			продуктивности растений		
		2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг	2023	2024	Ранг
1	Гостианум 237	0,023	0,021	13	0,145	0,139	11	4,28	4,76	8	4,23	4,18	13
2	Лютесценс 230	0,033	0,027	11	0,182	0,143	10	4,28	4,16	9	6,70	5,15	10
3	Губерния	0,036	0,035	10	0,179	0,164	9	3,81	4,40	11	5,87	5,76	11
4	Мироновская 808	0,032	0,025	12	0,182	0,144	10	3,76	4,00	12	5,61	4,18	12
5	Донская безостая	0,048	0,036	6	0,221	0,189	8	5,17	5,26	7	7,83	5,75	9
6	Саратовская 90t	0,039	0,039	7	0,203	0,214	7	4,69	6,21	5	7,56	9,52	5
7	Жемчужина Поволжья	0,039	0,033	9	0,205	0,212	7	4,48	6,08	6	7,69	8,39	6
8	Саратовская 17	0,041	0,045	5	0,222	0,240	3	5,26	6,24	3	9,20	10,61	3
9	Анастасия	0,034	0,041	8	0,147	0,178	10	3,36	4,99	10	6,61	7,03	8
10	Калач 60	0,043	0,047	4	0,199	0,245	4	4,52	6,05	6	8,73	11,10	3
11	Подруга (st)	0,047	0,043	4	0,225	0,217	5	5,18	6,23	4	4,33	9,86	7
12	Санта / Калач 60	0,063	0,057	1	0,197	0,240	6	5,03	6,39	4	7,52	11,91	4
13	Сар.17/ Ш2293 R 13// Л6641h 407 Г 50	0,045	0,059	2	0,215	0,262	2	5,27	7,36	2	6,24	16,18	2
14	Сар. 17/Лига 1	0,054	0,047	3	0,263	0,247	1	5,94	6,81	1	12,89	12,86	1
r		0,41	0,51*	–	0,20	0,50*	–	-0,05	0,41	–	0,13	0,41	–
CV, %		24,34	28,22	–	15,71	21,15	–	15,34	18,43	–	30,38	41,17	–
Коэффициент детерминации		0,17	0,26	–	0,04	0,25	–	0,00	0,17	–	0,02	0,17	–

При анализе среднерейтинговой оценки по селекционным индексам за два года выявлено, что сортообразцы сгруппировались следующим образом: 1–4-й ранги заняли короткостебельные линии (Санта / Калач 60, Саратовская 17/ Ш2293 R 13 // Л 6641h407Г50, Саратовская 17/Лига 1) и сорт Калач 60, обладающие высоким потенциалом урожайности; 5–7-й ранги – среднерослые сорта Подруга,

Саратовская 17, Жемчужина Поволжья, Саратовская 90; 8-й ранг – короткостебельный сорт Донская безостая, формирующий в условиях Саратова наиболее низкие показатели длины колоса, количества продуктивных колосков, длины подколосового междоузлия; 9–11-й ранги занимают высокорослые сорта интенсивного типа, такие как Анастасия, Губерния, Мироновская 808. 12–13-й ранги –

у высокорослых сортов степного типа, выведенных на начальных этапах селекции института (Лютесценс 230, Гостианум 237).

Аналогичные схемы ранжирования изученных сортообразцов озимой пшеницы, с некоторыми изменениями, получены как в благоприятный, так и в засушливый годы. Таким образом, основываясь на экспериментальных данных, можно утверждать, что использование селекционных индексов в комплексе, опираясь на выявленные корреляционные связи с урожайностью, принесет положительный результат в селекции.

Выводы. Повышенные индексы урожайности и аттракции выявляют потенциал продуктивности сортообразца. Индексы перспективности, потенциала колоса, налива

и мексиканский работают в условиях повышенной влажности. Комплексная оценка, включающая 10 селекционных индексов в годы с различающимися условиями произрастания, позволяет более четко разграничивать сортообразцы с одинаковой высотой растения и выявлять их потенциал продуктивности.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы НИОКР FNWF-2022-0003 «Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) сельскохозяйственных культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе».

Библиографический список

1. Воробьев В. А., Воробьев А. В. Роль селекционных индексов в оценке продуктивности яровой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 9. С. 37–39. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10909
2. Воробьев В. А., Николаева З. Р. Оценка исходного материала яровой мягкой пшеницы на продуктивность с использованием селекционных индексов // АПК России. 2024. Т. 31, № 1. С. 7–13. DOI: 10.55934/2587-8824-2024-31-1-7-13
3. Драгавцев, В. А. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и теория селекционных индексов / Экологическая генетика культурных растений. Школа молодых ученых по экологической генетике: сборник докладов. Краснодар: ВНИИ риса, 2012. С. 31–50.
4. Ковтун В. Н., Ковтун Л. Н. Озерненность, масса зерна и масса 1000 зерен в повышении урожайности озимой мягкой пшеницы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3(53). С. 27–29.
5. Кочерина Н. В., Драгавцев В. А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. АФИ, 2008. 87 с.
6. Малокозова Е. И., Пивоварова И. Ю., Попова А. В. Оценка селекционных линий и сортов яровой пшеницы по селекционным индексам // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019. № 1. С. 24–28.
7. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Эффективность отбора по селекционным индексам в контрастных условиях Зауралья // Вестник БГАУ. 2020. № 2. С. 32–38. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-32-38
8. Манукян И. Р., Басиева М. А. Использование селекционных индексов для оценки адаптивного потенциала коллекционных образцов озимой тритикале к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Горное сельское хозяйство. 2018. № 2. С. 33–37.
9. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Использование нового индекса продуктивности растений для оценки селекционного материала озимой пшеницы // Нива Поволжья. 2019. № 2(51). С. 7–52.
10. Михайленко И. М., Драгавцев В. А. Основные принципы моделирования систем взаимодействия генотип-среда // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 3. С. 26–35.
11. Парфенова Е. С., Псарева Е. А. Селекционные индексы для оценки продуктивности сортов озимой ржи в экологическом сортоиспытании // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы VII Международной научно-практической конференции, Киров, 4–5 апреля 2021 года. С. 134–139.
12. Плиско Л. Г., Пакуль В. Н. Оценка селекционных линий яровой мягкой пшеницы по селекционным индексам // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12(66). С. 127–130.
13. Степанова Н. А., Сидоренко В. С., Старикова Ж. В., Костромичева В. А. Определение продуктивности яровой мягкой пшеницы на основе селекционных индексов // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 3(39). С. 91–96. DOI: 10.244112/2309-348X-2021-3-91-96
14. Тихонов, В. Е. Селекционные индексы и тактика отбора зерновых культур в степной зоне Урала // Аграрная наука. 2010. № 7. С. 12–14

References

1. Vorob'ev V. A., Vorob'ev A. V. Rol' selektsionnykh indeksov v otsenke produktivnosti yarovoi pshenitsy [The role of selection indices in estimating spring wheat productivity] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 9. S. 37–39. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10909
2. Vorob'ev V. A., Nikolaeva Z. R. Otsenka iskhodnogo materiala yarovoi myagkoi pshenitsy na produktivnost' s ispol'zovaniem selektsionnykh indeksov [Estimation of the initial material of spring common wheat for productivity using selection indices] // APK Rossii. 2024. T. 31, № 1. S. 7–13. DOI: 10.55934/2587-8824-2024-31-1-7-13
3. Dragavtsev, V. A. Ekologo-geneticheskaya organizatsiya kolichestvennykh priznakov rastenii i teoriya selektsionnykh indeksov [Ecological and genetic organization of quantitative traits of plants

and the theory of selection indices] // *Ekologicheskaya genetika kul'turnykh rastenii. Shkole molodykh uchenykh po ekologicheskoi genetike: sb. dokladov*. Krasnodar: VNII risa, 2012. S. 31–50.

4. Kovtun V. N., Kovtun L. N. Ozernennost', massa zerna i massa 1000 zeren v povyshenii urozhainosti ozimoi myagkoi pshenitsy [Grain content, grain weight and 1000-grain weight in improving winter common wheat productivity] // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. № 3(53). S. 27–29.

5. Kocherina N. V., Dragavtsev V. A. Vvedenie v teoriyu ekologo-geneticheskoi organizatsii poligennykh priznakov rastenii i teoriyu selektsionnykh indeksov [Introduction to the theory of ecological and genetic organization of polygenic traits of plants and the theory of selection indices]. AFI, 2008. 87 s.

6. Malokostova E. I., Pivovarova I. Yu., Popova A. V. Otsenka selektsionnykh linii i sortov yarovoi pshenitsy po selektsionnym indeksam [Estimation of breeding lines and varieties of spring wheat according to selection indices] // *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 1. S. 24–28.

7. Mal'tseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Kataeva N. V. Effektivnost' otbora po selektsionnym indeksam v kontrastnykh usloviyakh Zaural'ya [Efficiency of selection according to selection indices in contrasting conditions of the Trans-Urals] // *Vestnik BGAU*. 2020. № 2. S. 32–38. DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-32-38

8. Manukyan I. R., Basieva M. A. Ispol'zovanie selektsionnykh indeksov dlya otsenki adaptivnogo potentsiala kolleksiionnykh obraztsov ozimoi tritikale k usloviyam predgornoi zony Tsentral'nogo Kavkaza [The use of selection indices to estimate the adaptive potential of collection samples of winter triticale to the foothill of the Central Caucasus] // *Gornoe sel'skoe khozyaistvo*. 2018. № 2. S. 33–37.

9. Manukyan I. R., Basieva M. A., Miroshnikova E. S., Abiev V. B. Ispol'zovanie novogo indeksa produktivnosti rastenii dlya otsenki selektsionnogo materiala ozimoi pshenitsy [The use of a new index of plant productivity to estimate the breeding material of winter wheat] // *Niva Povolzh'ya*. 2019. № 2(51). S. 7–52.

10. Mikhailenko I. M., Dragavtsev V. A. Osnovnye printsipy modelirovaniya sistem vzaimodeistviya genotip-sreda [Basic principles of modeling genotype-environment interaction systems] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2010. № 3. S. 26–35.

11. Parfenova E. S., Psareva E. A. Seleksiionnye indeksy dlya otsenki produktivnosti sortov ozimoi rzhii v ekologicheskom sortoispytanii [Selection indices to estimate productivity of winter rye varieties in ecological variety testing] // *Metody i tekhnologii v selektsii rastenii i rastenievodstve: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Kirov, 4–5 aprelya 2021 g. S. 134–139.

12. Plisko L. G., Pakul' V. N. Otsenka selektsionnykh linii yarovoi myagkoi pshenitsy po selektsionnym indeksam [Estimation of breeding lines of spring common wheat according to selection indices] // *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2017. № 12(66). S. 127–130.

13. Stepanova N. A., Sidorenko V. S., Starikova Zh. V., Kostromicheva V. A. Opreделение produktivnosti yarovoi myagkoi pshenitsy na osnove selektsionnykh indeksov [Determining the productivity of spring common wheat according to selection indices] // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2021. № 3(39). S. 91–96. DOI: 10.244112/2309-348Kh-2021-3-91-96

14. Tikhonov, V. E. Seleksiionnye indeksy i taktika otbora zernovykh kul'tur v stepnoi zone Urals [Selection indices and tactics of selecting grain crops in the steppe part of the Urals] // *Agrarnaya nauka*. 2010. № 7. S. 12–14.

Поступила: 19.05.25; доработана после рецензирования: 23.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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. Лящева С. В. – концептуализация исследования, статистический анализ данных, подготовка рукописи; Кулеватова Т. Б. – анализ данных, подготовка рукописи; Злобина Л. Н. – анализ данных, подготовка рукописи; Заверотина А. Д. – проведение полевых опытов, сбор первичных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ЗАСУХИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

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

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

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

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

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

А. С. Иванисова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, ORCID ID: 0000-0003-1466-250x

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Пшеница твердых сортов является одной из самых значимых сельскохозяйственных культур. В условиях меняющегося климата посевы все чаще подвергаются негативному воздействию засушливых периодов и высоких температур. Чтобы снизить потери урожая, требуется создание и внедрение в производство сортов, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды. Опыты были проведены в 2021–2023 гг. в лаборатории клеточной селекции совместно с лабораторией селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Изучалось 5 сортов озимой твердой пшеницы местной селекции. Целью данных исследований являлась оценка влияния различной влагообеспеченности почвы на величину урожайности и элементов структуры озимой твердой пшеницы. В засушливых условиях продуктивность растений определялась несколькими морфофизиологическими признаками: количеством продуктивных стеблей, числом и массой семян с главного колоса, степенью завязывания семян. Изучение в контрастных по влагообеспеченности условиях позволило выделить сорта озимой твердой пшеницы, имеющие высокие значения по комплексу признаков в сочетании с наименьшей степенью депрессии от засухи. Выделились сорта по числу зерен в колосе – Хризолит и Эллада, по массе зерна с главного колоса, по массе 1000 зерен и по урожайности – Солнцедар и Каротинка. Результаты полевых и лабораторных исследований, различавшихся погодными условиями, позволили выявить сорта озимой твердой пшеницы с высокой урожайностью – Эллада (9,55 т/га) и Каротинка (9,00 т/га).

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, сорт, засухоустойчивость, урожайность, степень депрессии.

Для цитирования: Лобунская И. А., Газе В. Л., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Костылев П. И., Иванисова А. С. Влияние засухи на формирование продуктивности сортов озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 27–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-27-33.



THE EFFECT OF DROUGHT ON PRODUCTIVITY FORMATION OF WINTER DURUM WHEAT VARIETIES

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

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

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

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

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

A. S. Ivanisova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-1466-250x

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Durum wheat is one of the most important agricultural crops. Under changing climate, crops are increasingly exposed to the negative effects of droughts and high temperatures. To reduce yield losses, it is necessary to develop and introduce varieties resistant to adverse environmental factors. The trials were conducted in the laboratory for cell breeding, jointly with the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production at the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2021–2023. There have been studied five locally developed winter durum wheat varieties. The purpose of current study was to estimate the effect of varying soil moisture conditions on productivity and yield structure elements of winter durum wheat. Under arid conditions, plant productivity was determined by several morphophysiological traits, such as a number of productive stems, a number and weight of kernels per main ear, and a kernel formation degree. The study under conditions with contrasting moisture conditions allowed

identifying winter durum wheat varieties with high values of traits combined with the lowest drought depression degree. There have been identified the varieties according to a number of kernels per ear ('Khrizolit' and 'Ellada'), according to kernel weight per main ear and 1000-kernel weight, and according to productivity ('Solntsedar' and 'Karotinka'). The results of field and laboratory trials with varied weather conditions allowed identifying largely productive winter durum wheat varieties 'Ellada' (9.55 t/ha) and 'Karotinka' (9.00 t/ha).

Keywords: winter durum wheat, variety, drought resistance, productivity, depression degree.

Введение. Одной из ценных злаковых культур является твердая пшеница (*Triticum durum* L.). Несмотря на относительно небольшие посевные площади, эта культура имеет важное экономическое значение и пользуется высоким спросом благодаря своим уникальным качествам и широкому спектру применения. Ее зерно служит сырьем для производства макаронных и кондитерских изделий, круп и детского питания (Рустамов и Аббасов, 2015; Евдокимов и др., 2021).

Одним из наиболее серьезных факторов, негативно влияющих на урожайность и качество сельскохозяйственных культур во многих регионах мира, является засуха, даже если она кратковременная (Уполовников и др., 2025).

Значительная часть посевов зерновых располагается в зонах с недостаточным увлажнением, что делает засухоустойчивость ключевым фактором для обеспечения высоких урожаев пшеницы. Дефицит влаги может возникать даже в регионах с достаточным или избыточным увлажнением в определенные периоды (Sallam et al., 2019; Самофалов и др., 2023).

В агрономическом контексте засухоустойчивость определяется, как способность сорта обеспечивать более высокую урожайность в условиях недостатка влаги по сравнению с другими сортами. Для изучения засухоустойчивости применяют прямые методы оценки в полевых условиях, позволяющие комплексно оценивать признаки сортов, а также широкий набор лабораторных методов для выявления защитных механизмов растений (Плотникова и др., 2022; Евдокимов и др., 2024).

Сельскохозяйственное производство в засушливых регионах нашей страны требует сортов и гибридов зерновых культур, обладающих высокой пластичностью, продуктивностью и засухоустойчивостью, обеспечивающих стабильную по годам урожайность зерна (Алабушев и др., 2019; Иличкина и др., 2021; Ivanisov et al., 2023). Эффективная селекция в этом направлении возможна на основе знания и использования физиологических механизмов, обеспечивающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды (Рустамов и Аббасов, 2015; Морозов и др., 2022; Ивановская и др., 2025).

Целью данных исследований является оценка влияния различной влагообеспеченности почвы на величину урожайности и элементов структуры озимой твердой пшеницы.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в южной зоне Ростовской области в лабораториях клеточной селекции и на полях лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Материалом служили пять сортов озимой твердой пшеницы, прошедшие испытания как в лабораторных исследованиях (вегетационный опыт), так и в естественных (полевых) условиях. В качестве стандарта использовали сорт Кристелла.

Посев семян озимой твердой пшеницы в полевых условиях осуществляли сеялкой Wintersteiger Plotseed S (Австрия) рядовым способом с нормой высева 500 всхожих зерен на 1 м². Площадь делянок 10 м², повторность шестикратная.

Оценку устойчивости сортов к засухливым условиям осуществляли путем моделирования засухи по методике, разработанной В. В. Маймистовым (1988). Растения выращивали при различной влагообеспеченности. До наступления фенологической фазы выхода в трубку образцы выращивали в одинаковых условиях, затем растениям в опыте ограничивали доступ влаги (подвергали воздействию засухи), а растения на контроле получали регулярный полив.

В процессе анализа снопового материала согласно методике Государственного сортоиспытания определяли такие признаки, как количество продуктивных стеблей (шт./м²), масса зерна главного колоса (г), количество зерен с главного колоса (шт.), (2019), а массу 1000 зерен – по ГОСТу 12042-80.

Стадии развития пшеницы определяли согласно классификации, предложенной Ф. М. Куперман (1984) и модифицированной С. Н. Куликович и Е. Н. Куликович (2014).

Влияние засухи оценивали по депрессии элементов структуры урожая, представляющей собой отношение разности между величинами признаков в оптимальных (полив) и засушливых условиях (без доступа влаги) к показателю оптимальной влагообеспеченности, выраженное в процентах.

Агрометеорологические условия в годы исследований были разными. Погодные условия в 2021/2022 с.-х. году были нестабильными. Зима выдалась холодной, с резкими перепадами температур – от сильных морозов до оттепели. Июнь характеризовался значительным недостатком осадков, общее количество которых составило – 9,57 мм. При этом среднемесячная температура составила 23,2 °С, что на 2,7 °С выше нормы. В отдельные дни температура поднималась до 36,6 °С. Несмотря на это, год характеризовался оптимальным температурным режимом и достаточным количеством осадков на протяжении всего периода вегетации, что способствовало благоприятному росту и развитию растений.

2022/2023 с.-х. год отличался недостаточным количеством осадков осенью в период

«посев–кущение» – 95,0 мм, или 72,2 % от нормы, и зимой – 125,0 мм, или 75,4 % от среднелетних значений, и хорошей влагообеспеченностью в период активной вегетации. С апреля по июнь 2023 г. выпало 241,7 мм осадков, что составляет 146,2 % от среднелетней нормы. Теплая зима и обильные осадки весной и летом способствовали не только хорошему кущению и интенсивному росту вегетативной массы, но и развитию грибковых болезней, полеганию, осыпанию зерна и, как следствие, снижению урожайности.

Математическая обработка данных осуществлялась по методическим указаниям Б. А. Доспехова (2014) с использованием программного обеспечения Statistica 10 и Excel.

Результаты и их обсуждение. Для выявления механизмов устойчивости сортов озимой

твердой пшеницы к дефициту влаги проводили вегетационный опыт (засушник), в котором растения выращивали на экспериментальном участке при оптимальном и ограниченном водном режиме. Оценивали воздействие водного стресса на элементы структуры урожая и общую урожайность по средним данным за 2022–2023 годы.

Различия в условиях выращивания растений в период от колошения до созревания позволили установить влияние засухи на формирование элементов структуры урожая у различных сортов озимой твердой пшеницы. Густота продуктивного стеблестоя у образцов озимой твердой пшеницы в засушливых условиях варьировала от 220 (Каротинка) до 276 шт./м² (Эллада), а в оптимальных условиях – от 266 (Каротинка) до 307 шт./м² (Эллада) (табл. 1).

Таблица 1. Густота продуктивного стеблестоя сортов озимой твердой пшеницы и ее депрессия в условиях засушника (2022–2023 гг.)

Table 1. Productive stand density of winter durum wheat varieties and its depression under drought conditions (2022–2023)

№ п/п	Сорт	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м ²			Депрессия, %
		опыт	контроль	% О/К	
1	Кристелла, st	270	278	97,1	2,9
2	Солнцедар	255	274	93,1	6,9
3	Хризолит	261	298	87,6	12,4
4	Эллада	276	307	89,9	10,1
5	Каротинка	220	266	82,7	17,3
	Среднее по сортам	256	285	89,8	10,2
	НСР ₀₅	40,8	65,4	–	–

Снижение соотношения густоты продуктивного стеблестоя в условиях засухи по сравнению с контролем изменялось от 82,7 % (Каротинка) до 97,1 % (Кристелла). Достоверного превышения значений стандартного сорта Кристелла (270 и 278 шт./м²) по этому признаку как в опыте, так и контроле не зафиксировано, все сорта показали сопоставимые результаты (НСР₀₅ в опыте – 40,8 шт./м²; контроль – 65,4 шт./м²).

Степень депрессии признаков урожайности отражает снижение этих показателей под воздействием неблагоприятных факто-

ров среды. Изменение густоты продуктивного стеблестоя было незначительное (общее снижение 10,2 %), поэтому трудно делать выводы об устойчивости к засухе, так как депрессия варьировала от 2,9 до 17,3 %. Наименьшее снижение величины данного признака в условиях недостатка влаги наблюдалось у сортов Кристелла (2,9 %) и Солнцедар (6,9 %).

Количество зерен с главного колоса у изучаемых сортов в опыте находилось в диапазоне от 22 шт. (Солнцедар) до 28 шт. (Кристелла и Эллада), а в контроле – от 26 шт. (Солнцедар) до 31 шт. (Кристелла и Эллада) (табл. 2).

Таблица 2. Количество зерен с главного колоса озимой твердой пшеницы и его депрессия в условиях засушника (2022–2023 гг.)

Table 2. Number of kernels per main ear of winter durum wheat and its depression under drought conditions (2022–2023)

№ п/п	Сорт	Количество зерен с главного колоса, шт.			Депрессия, %
		опыт	контроль	% О/К	
1	Кристелла, st	28	31	90,3	9,7
2	Солнцедар	22	26	84,6	15,4
3	Хризолит	26	29	89,7	10,3
4	Эллада	28	31	90,3	9,7
5	Каротинка	25	28	89,3	10,7
	Среднее по сортам	26	29	89,7	11,2
	НСР ₀₅	8,5	7,5	–	–

Соотношение количества зерен с главного колоса в опыте относительно контроля ва-

рировало от 84,6 % (Солнцедар) до 90,3 % (Эллада). Статистически значимых различий

по сравнению со стандартом Кристелла (28 и 31 шт.) как в опыте, так и контроле не обнаружено (HCP_{05} в опыте – 8,5 шт.; в контроле – 7,5 шт.). Общая по сортам депрессия составила 11,2 %.

Сорта Хризолит и Эллада (26 и 29 шт., 10,3 % и 28 и 31 шт., 9,7 %) характеризовались наи-

большей озерненностью колоса как в засушливых, так и в оптимальных условиях и наименьшей депрессией этого признака.

Масса зерна с главного колоса в опыте была в пределах от 0,74 г (Солнцедар) до 0,90 г (Кристелла), а в контроле – от 1,14 г (Каротинка) до 1,34 г (Эллада) (табл. 3).

Таблица 3. Масса зерна с главного колоса озимой твердой пшеницы и ее депрессия в условиях засушливника (2022–2023 гг.)
Table 3. Kernel weight per main ear of winter durum wheat and its depression under drought conditions (2022–2023)

№ п/п	Сорт	Масса зерна с главного колоса, г			Депрессия, %
		опыт	контроль	% О/К	
1	Кристелла, st	0,90	1,22	73,8	26,2
2	Солнцедар	0,74	1,15	64,3	35,7
3	Хризолит	0,75	1,20	62,5	37,5
4	Эллада	0,89	1,34	66,4	33,6
5	Каротинка	0,78	1,14	68,4	31,6
	Среднее по сортам	0,81	1,21	66,9	33,1
	HCP_{05}	0,19	0,29	–	–

Достоверного превышения над стандартным сортом Кристелла в опыте и контроле не выявлено, все образцы находились на уровне и ниже (HCP_{05} в опыте – 0,19 г; в контроле – 0,29 г). Высокое значение по массе зерна с колоса в условиях засухи отмечено у сорта Эллада (0,89 г). Наименьшее снижение соотношения массы зерна в опыте к контролю наблюдалось

у сортов Кристелла (О/К – 73,8 %, депрессия – 26,2 %) и Каротинка (О/К – 68,4 %, депрессия – 31,1 %).

Масса 1000 зерен у образцов в засушливых условиях варьировала от 28,2 г (Хризолит) до 36,8 г (Солнцедар), а в оптимальных – от 39,1 г (Кристелла) до 44,1 г (Солнцедар) (табл. 4).

Таблица 4. Масса 1000 зерен озимой твердой пшеницы и ее депрессия в условиях засушливника (2022–2023 гг.)
Table 4. 1000-kernel weight of winter durum wheat and its depression under drought conditions (2022–2023)

№ п/п	Сорт	Масса 1000 семян, г			Депрессия, %
		Опыт	Контроль	% О/К	
1	Кристелла, st	31,5	39,1	80,6	19,4
2	Солнцедар	36,8	44,1	83,4	16,6
3	Хризолит	28,2	40,5	69,6	30,4
4	Эллада	31,5	43,1	73,1	26,9
5	Каротинка	31,1	40,8	76,2	23,8
	Среднее по сортам	31,8	41,5	76,6	23,4
	HCP_{05}	1,42	1,07	–	–

Достоверное превышение массы 1000 зерен над стандартным сортом Кристелла (31,5 и 39,1 г) отмечено в условиях засухи у сорта Солнцедар (36,8 г), а в контроле – у Солнцедара (44,4 г), Эллады (43,1 г), Каротинки (40,8 г) и Хризолита (40,5 г) (HCP_{05} = 1,42 г в опыте и 1,07 г в контроле). Минимальное снижение массы 1000 зерен в опыте по сравнению с контролем наблюдалось у сорта Солнцедар (О/К – 83,4 %, депрессия – 16,7 %).

Реакция сортов на стрессовые условия была наиболее выраженной по признакам «масса зерна с главного колоса» и «масса 1000 зерен», общая депрессия составила 33,1 и 23,4 % соответственно (табл. 3, 4).

Урожайность зерна озимой твердой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения (опыт) находилась в диапазоне от 185,7 г/м² (Хризолит) до 258,8 г/м² (Кристелла), а в оптимальных условиях – от 253,3 г/м² (Каротинка) до 343,2 г/м² (Эллада) (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность сортов озимой твердой пшеницы и ее депрессия в условиях засушливника (2022–2023 гг.)
Table 5. Productivity of winter durum wheat varieties and its depression under drought conditions (2022–2023)

№ п/п	Сорт	Урожайность, г/м ²			Депрессия, %
		Опыт	Контроль	% О/К	
1	Кристелла, st	258,8	310,3	83,4	16,6

Продолжение табл. 5

№ п/п	Сорт	Урожайность, г/м ²			Депрессия, %
		Опыт	Контроль	% О/К	
2	Солнцедар	215,1	287,0	74,9	25,1
3	Хризолит	185,7	330,3	56,2	43,8
4	Эллада	237,9	343,2	69,3	30,7
5	Каротинка	186,1	253,3	73,5	26,5
	Среднее по сортам	216,7	304,8	71,1	28,9
	HCP ₀₅	78,9	38,9	–	–

Достоверного превышения значений стандарта Кристелла (258,8 и 310,3 г/м²) в условиях засухи и при оптимальном увлажнении не отмечено, урожайность сортов находилась на уровне HCP₀₅ (опыт – 78,9 г/м², контроль – 38,9 г/м²). Общая депрессия урожайности составила 28,9 % с варьированием по сортам от 16,6 до 43,8 %. Наименьшее снижение соотношения урожайности в опыте по сравнению с контролем отмечено у сортов Солнцедар (О/К – 74,9 %, депрессия – 25,1 %) и Каротинка (О/К – 76,5 %, депрессия – 26,5 %).

Корреляционный анализ, проведенный для выявления взаимосвязи между продуктивностью растений и элементами структуры уро-

жая в условиях засухи, показал сильную связь урожайности с массой зерна главного колоса ($r = 0,85 \pm 0,08$) и густотой продуктивного стеблестоя ($r = 0,70 \pm 0,08$), среднюю – с количеством зерен с главного колоса ($r = 0,51 \pm 0,08$), слабую – с массой 1000 зерен ($r = 0,27 \pm 0,08$).

Анализ сортовых особенностей развития в полевых условиях показал, что в 2022 г. урожайность колебалась от 10,82 т/га (Каротинка) до 11,77 т/га (Эллада). В 2023 г. ее величина составила от 5,89 т/га (Кристелла) до 7,33 т/га (Эллада). Средняя урожайность по сортам в более благоприятном 2022 г. достигла 9,46 т/га, в то время как в 2023 г. она снизилась до 5,59 т/га (табл. 6).

Таблица 6. Урожайность сортов озимой твердой пшеницы в поле
Table 6. Productivity of winter durum wheat varieties in the field

№ п/п	Сорт	Урожайность, т/га			
		2022 г.	2023 г.	среднее	± к стандарту
1	Кристелла, st	10,87	5,89	8,38	–
2	Солнцедар	11,42	6,31*	8,87	0,51
3	Хризолит	11,25	6,42*	8,84	0,48
4	Эллада	11,77*	7,33*	9,55*	1,19
5	Каротинка	10,82	7,18*	9,00	0,64
	Среднее	9,46	5,59	8,93	0,57
	HCP ₀₅	0,63	0,40	–	–

Примечание. * – достоверное превышение стандартного сорта ($p \leq 0,05$).

В 2022 г. сорт Эллада продемонстрировал наибольшую урожайность (11,77 т/га), существенно превзойдя стандартный сорт Кристелла (10,87 т/га) на 0,9 т/га (HCP₀₅ = 0,63 т/га). В 2023 г. все исследуемые сорта показали значительное увеличение урожайности по сравнению со стандартным сортом – с прибавкой от 0,42 до 1,44 т/га. В результате двухлетних испытаний достоверное превышение урожайности на 1,19 т/га в сравнении со стандартом отмечено у сорта Эллада (9,55 т/га).

Результаты наших исследований показали, что хотя некоторые сорта не превышали контрольные показатели в лабораторных условиях, но они продемонстрировали значительную урожайность в полевых условиях. Этот эффект обусловлен взаимодействием генотипа растения с внешней средой. Следовательно, выбор перспективных сортов должен основываться не только на результатах лабораторных исследований, но и учитывать их способность адаптироваться к внешним условиям и давать устойчивые урожаи в естественных условиях.

Выводы. Весомый вклад в повышение урожайности сортов озимой твердой пшеницы в условиях недостаточной влагообеспеченности вносят такие элементы структуры, как продуктивная кустистость, масса 1000 зерен, число семян и масса семян с главного колоса. Изучение сортов озимой пшеницы в контрастных по влагообеспеченности условиях позволило выделить формы, имеющие высокие значения по комплексу признаков в сочетании с наименьшей степенью депрессии: по числу зерен в колосе – Хризолит (26 шт., депрессия – 10,3 %) и Эллада (28 шт., депрессия – 9,7 %), по массе зерна с главного колоса, массе 1000 зерен и урожайности – Солнцедар (0,78; 31,1 г и 215,1 г/м² и с депрессией 31,6; 23,8; 25,1 %) и Каротинка (0,74; 36,8 г, 186,1 г/м² и с депрессией 35,7; 16,6; 26,5 %) соответственно.

В результате полевых и лабораторных исследований за период 2021–2023 гг. с различными погодными условиями выявлены сорта озимой твердой пшеницы с высокой урожайностью – Эллада (9,55 т/га) и Каротинка (9,00 т/га).

Полученная информация может быть использована для создания селекционного материала озимой твердой пшеницы с различным сочетанием признаков и механизмов адаптации к засушливым условиям.

Финансирование. Государственное задание № 0505-2025-0008 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Алабушев А. В., Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Самофалова Н. Е. Оценка степени засухоустойчивости новых коммерческих сортов озимой твердой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 10. С. 51–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11011
2. Евдокимов М. Г., Юсов В. С., Пахотина И. В. Основные тенденции урожайности и качества зерна твердой яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Крас ГАУ. 2021. № 4(169). С. 33–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-33-41
3. Евдокимов М. Г., Юсов В. С. Селекционные критерии засухоустойчивости твердой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири // Вестник Крас ГАУ. 2024. № 6. С. 26–35. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-26-35
4. Иванисова А. С., Марченко Д. М., Дубинина О. А., Иванисов М. М., Подгорный С. В. Хозяйственно-биологическая характеристика современных сортов озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Аграрная наука. 2025. № 5. С. 106–111. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-394-05-106-111
5. Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Безуглая Т. С., Дубинина О. А. Хозяйственно-биологические признаки новых сортов озимой твердой пшеницы Яхонт и Янтарина // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 92–100. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-92-100
6. Морозов Н. А., Ходжаева Н. А., Хрипунов А. И., Община Е. Н. Влияние самых сильных летне-осенних засух на урожайность озимой пшеницы по различным предшественникам в засушливых условиях Восточного Предкавказья // Аграрная наука. 2022. № 12. С. 87–92. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-87-92
7. Плотникова Л. Я., Глушаков Д. А., Юсов В. С. Результаты изучения засухоустойчивости твердой пшеницы и ее компонентов в Западной Сибири // Вестник Омского ГАУ. 2022. № 4(48). С. 56–70.
8. Рустамов Х. Н., Аббасов М. А. Связь морфофизиологических показателей пшеницы твердой (*T. durum* Desf.) с засухоустойчивостью // Зерновое хозяйство России. 2015. № 3. С. 3–11.
9. Самофалов А. П., Подгорный С. В., Скрипка О. В., Громова С. Н., Чернова В. Л. Изменение урожайности и составляющих ее элементов структуры мягкой озимой пшеницы в зависимости от условий влагообеспеченности и генотипа // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91
10. Уполовников Д. А., Денисов К. Е., Макарова Е. С., Гераскина А. А. Перспективность возделывания озимой пшеницы в России // Аграрный научный журнал. 2025. № 1. С. 60–68. DOI: 10.28983/asj.y2025i1pp60-68
11. Ivanisov M., Marchenko D., Shishkin N., Gaze V. Productivity and resistance to stress factors of winter wheat varieties bred by ARC "Donskoy" // E3S Web of Conferences INTERAGROMASH. 2023. Vol. 413, Article number: 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301006
12. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F. A., Baenziger P. S., Börner A. Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International journal of molecular sciences. 2019. Vol. 20(13), Article number: 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137

References

1. Alabushev A. V., Ionova E. V., Likhovidova V. A., Samofalova N. E. Otsenka stepeni zasukhoustoichivosti novykh kommercheskikh sortov ozimoi tverdoi pshenitsy [Estimation of the drought tolerance of the new commercial durum winter wheat varieties] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33, № 10. S. 51–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11011
2. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Pakhotina I. V. Osnovnye tendentsii urozhainosti i kachestva zerna tverdoi yarovoi pshenitsy v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [Main trends in productivity and grain quality of durum spring wheat in the southern forest-steppe conditions of Western Siberia] // Vestnik Kras GAU. 2021. № 4(169). S. 33–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-33-41
3. Evdokimov M. G., Yusov V. S. Seleksionnye kriterii zasukhoustoichivosti tverdoi yarovoi pshenitsy v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Breeding criteria for drought tolerance of durum spring wheat in Western Siberia] // Vestnik Kras GAU. 2024. № 6. S. 26–35. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-26-35
4. Ivanisova A. S., Marchenko D. M., Dubinina O. A., Ivanisov M. M., Podgornyi S. V. Khozyaistvenno-biologicheskaya kharakteristika sovremennykh sortov ozimoi tverdoi pshenitsy seleksii FGBNU «ANTs «Donskoi» [Economic and biological characteristics of modern durum winter wheat varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy"] // Agrarnaya nauka. 2025. № 5. S. 106–111. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-394-05-106-111
5. Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Bezuglaya T. S., Dubinina O. A. Khozyaistvenno-biologicheskie priznaki novykh sortov ozimoi tverdoi pshenitsy Yakhont i Yantarina [Economic and biological traits of the new durum winter wheat varieties 'Yakhont' and 'Yantarina'] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2021. № 4(28). S. 92–100. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-92-100
6. Morozov N. A., Khodzhaeva N. A., Khripunov A. I., Obshchiya E. N. Vliyanie samykh sil'nykh letne-osennikh zasukh na urozhainost' ozimoi pshenitsy po razlichnym predshestvennikam v zasushlivykh usloviyakh Vostochnogo Predkavkaz'ya [The effect of the severe summer-autumn droughts on productivity of winter wheat after various forecrops in the arid conditions of the Eastern Ciscaucasia] // Agrarnaya nauka. 2022. № 12. S. 87–92. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-87-92

7. Plotnikova L. Ya., Glushakov D. A., Yusov V. S. Rezul'taty izucheniya zasukhoustoichivosti tverdoi pshenitsy i ee komponentov v Zapadnoi Sibiri [Study results of drought tolerance of durum wheat and its components in Western Siberia] // Vestnik Omskogo GAU. 2022. № 4(48). S. 56–70.
8. Rustamov Kh. N., Abbasov M. A. Svyaz' morfofiziologicheskikh pokazatelei pshenitsy tverdoi (*T. durum* Desf.) s zasukhoustoichivost'yu [The correlation between morphological and physiological indicators of durum wheat (*T. durum* Desf.) and drought tolerance] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 3. S. 3–11.
9. Samofalov A. P., Podgornyi S. V., Skripka O. V., Gromova S. N., Chernova V. L. Izmenenie urozhainosti i sostavlyayushchikh ee elementov struktury myagkoi ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot uslovii vlogoobespechennosti i genotipa [Changes in yield and its structure elements in winter common wheat depending on moisture availability and a genotype] // Agrarnaya nauka. 2023. № 7. S. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91
10. Upolovnikov D. A., Denisov K. E., Makarova E. S., Geraskina A. A. Perspektivnost' vozdeleyvaniya ozimoi pshenitsy v Rossii [Prospects of winter wheat cultivation in Russia] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2025. № 1. S. 60–68. DOI: 10.28983/asj.y2025i1pp60-68
11. Ivanisov M., Marchenko D., Shishkin N., Gaze V. Productivity and resistance to stress factors of winter wheat varieties bred by ARC "Donskoy" // E3S Web of Conferences INTERAGROMASH. 2023. Vol. 413, Article number: 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301006
12. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F. A., Baenziger P. S., Börner A. Drought stress tolerance in wheat and barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International journal of molecular sciences. 2019. Vol. 20(13), Article number: 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137

Поступила: 14.08.25; доработана после рецензирования: 17.09.25; принята к публикации: 25.09.25

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; Иванисова А. С. – анализ данных и их интерпретация; Костылев П. И. – общее руководство и корректировка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СЕЛЕКЦИИ МЕЛКОСЕМЕННОЙ ЧЕЧЕВИЦЫ НА ПРИГОДНОСТЬ К МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УБОРКЕ

Т. В. Маракаева, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, tv.marakaeva@omgau.org, ORCID ID: 0000-0001-9384-8112

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина», 644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, д. 1

Отсутствие местных сортов, а также низкая конкурентоспособность и недостаточная технологичность возделываемых в регионе сортов чечевицы различной географической селекции обуславливают потребность в более быстром улучшении культуры по параметрам пригодности к механизированной уборке. Использование маркеров позволяет существенно сократить время, необходимое для выведения сортов с наличием желаемых показателей. Исследование направлено на поиск KASP-маркеров, сопряженных с признаками технологичности, в коллекционных образцах, а также на выявление эффективных SNP-локусов для применения в маркер-ориентированной селекции чечевицы в Западной Сибири. Установлено, что благоприятными для роста и развития оказались очень засушливые условия 2023 г., когда отмечен более компактный куст у растения чечевицы, связанный со слабой степенью ветвистости (1–4 ветви первого и последующего порядка), степенью облиственности менее 60 % и среднесуточным приростом менее 0,70 см в сутки и меньшим растрескиванием бобов (10,93 %). Генотипирование выявило статистически значимое влияние ветвистости и облиственности (LcRBContig00050 и LcRBContig00065) на увеличение устойчивости к полеганию агрофитоценоза чечевицы, выраженное в уменьшении вегетативной массы растения на 10 – 30 %. Благоприятный аллель маркеров скорости роста (LcRBContig00079 и LcRBContig00158) статистически достоверно увеличивает среднесуточный прирост растения на 0,35–0,91 см на начальных этапах развития. В увеличении высоты растения на 2–8 см и высоты прикрепления нижних бобов на 1–4 см значительный вклад внесли KASP-маркеры LcRBContig01123 и LcRBContig0534. Ассоциированный с нерастрескиваемостью бобов SNP (LcRBContig00067) позволяет увеличить процент нерастрескивающихся бобов в период созревания чечевицы до 90 %. В итоге отобраны образцы мелкосеменной чечевицы с набором генов, отвечающих за пригодность к механизированной уборке, достоверно превосходящие стандарт по технологичности: Орловская краснотерная, Северная, Рубиновая (Россия), Крапинка (Казахстан), Pardina Linsen (Германия), КДЦ Кермит, Redcap (Канада).

Ключевые слова: чечевица; *Lens culinaris*; KASP-маркеры; признаки пригодности к механизированной уборке; генотип.

Для цитирования: Маракаева, Т. В. Применение молекулярно-генетических методов в селекции мелкосеменной чечевицы на пригодность к механизированной уборке // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 34–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-34-41.



APPLICATION OF MOLECULAR GENETIC METHODS IN BREEDING OF SMALL-SEEDED LENTILS FOR SUITABILITY FOR MECHANICAL HARVESTING

T. V. Marakaeva, Candidate of Agricultural Sciences, docent, associate professor of the department of agronomy, breeding and seed production, tv.marakaeva@omgau.org, ORCID ID: 0000-0001-9384-8112

FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin" (FSBEI HE Omsk SAU), 644008, Omsk region, Omsk, Institutskaya Sq. 1

The lack of local varieties, as well as low competitiveness and insufficient technological efficiency of lentil varieties of various geographical breeding, determine the necessity for faster improvement of the crop in terms of suitability for mechanized harvesting. The use of markers allows reducing significantly the time required for breeding varieties with the desired indicators. The current study was aimed at searching for KASP markers associated with technological traits in collection samples, as well as identifying effective SNP loci for use in marker-assisted breeding of lentil in Western Siberia. There has been found that aridity in 2023 was favorable for growth and development, since there has been established a more compact bush of the lentil plant due to a weak degree of branching (1–4 branches of the first and subsequent order), a foliage degree of less than 60 % and a mean daily growth of less than 0.70 cm per day and less cracking of beans (10.93 %). Genotyping has demonstrated a statistically significant effect of branching and foliage (LcRBContig00050 and LcRBContig00065) on increasing the lodging resistance of lentil agrophytocenosis, expressed in a vegetative mass decrease by 10–30 %. The favorable allele of the growth rate markers (LcRBContig00079 and LcRBContig00158) has statistically significantly increased the average daily plant growth by 0.35–0.91 cm at the initial stages of development. The KASP markers LcRBContig01123 and LcRBContig0534 have made a significant contribution to increasing the plant height by 2–8 cm and the height of the lower beans' attachment by 1–4 cm. The SNP (LcRBContig00067) associated with the non-cracking of beans allows increasing the percentage of non-cracking lentil beans during maturation to 90%. As a result, there have been selected the small-seeded lentil samples with a set of genes responsible for suitability for mechanized harvesting, reliably

surpassing the standard in terms of technological effectiveness, such as 'Orlovskaya Krasnozernaya', 'Severnaya', 'Rubinovaya' (Russia), 'Krapinka' (Kazakhstan), 'Pardina Linsen' (Germany), 'KDC Kermit', 'Redcap' (Canada).

Keywords: lentil; *Lens culinaris*; KASP markers; traits of suitability for mechanical harvesting; genotype.

Введение. В Российской Федерации Омская область признается весьма перспективной для возделывания чечевицы, входя в пятерку основных производителей зерна этой культуры (помимо вышеуказанного региона, сюда также входят Алтайский край, Саратовская, Оренбургская и Рязанская области) с площадями посева, превышающими 25 тыс. га и среднегодовым производством 28,3 тыс. т (Быкова, 2023).

Несмотря на значительные площади посевов, регион существенно уступает другим областям по уровню урожайности (Быкова, 2023). Основными причинами являются отсутствие местных сортов, а также низкая конкурентоспособность и недостаточная технологичность возделываемых сортов чечевицы различной географической селекции, которые к тому же слабо адаптированы к резко изменяющимся условиям сибирского агроэкологического климата (Маракаева, 2024).

Таким образом, становится актуальной задача создания сортов чечевицы, адаптированных к условиям Сибири, которые уже на этапе ветвления демонстрировали бы высокую технологичность без снижения итоговой урожайности. Применение современных методов молекулярной биологии в этом направлении весьма целесообразно.

Исследование генома чечевицы продвигалось значительно медленнее по сравнению с такими зерновыми бобовыми культурами, как соя, фасоль и горох. Это обусловлено рядом факторов, включая ограниченную производственную базу из-за климатических условий, сложность адаптации растения, невысокие инвестиции в исследования секвенирования из-за стоимости технологий, а также сравнительно большой размер генома (~4 Гбн). По этим причинам маркер-ассоциированный отбор (MAS) в селекции чечевицы использовался очень ограниченно (Chen et al., 2024).

Австралийская исследовательская группа провела секвенирование транскриптома чечевицы с использованием платформы Roche 454 GS-FLX Titanium (Roche Diagnostics Corporation). В ходе работы было выявлено 2392 простых повторяющихся последовательности (SSR), содержащих экспрессированные метки последовательностей (EST) (Wang et al., 2020). На основе этого исследования те же ученые позже идентифицировали многочисленные однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) и использовали 546 SSR и 768 SNP-маркеры для построения генетической карты чечевицы (Wang et al., 2020).

Команда во главе с A. G. Sharpe разработала анализы KASP на основе 28 SNP и массив GoldenGate™ (Illumina, Inc.) с 1536 SNP для генетического картирования чечевицы (Sharpe, 2013). В свою очередь U. Majeed и колле-

ги описали основные требования к KASP-анализам для данного растения (Majeed et al., 2018). На основе их исследований команда под руководством M. J. Fedoruk внедрила 56 KASP-маркеров для генетического картирования и количественной оценки локусов признаков (QTL), связанных с морфологическими характеристиками растений чечевицы, включающих признаки пригодности к механизированной уборке (Fedoruk et al., 2013).

Позже Rodda M.S. с соавторами объединили анализ GoldenGate на основе 768 новых SNP с анализами KASP, включающими 200 ранее опубликованных SNP, а также маркеры SSR. Такое комбинированное генотипирование рекомбинантной инбредной линии (RIL) использовалось для составления карты сцеплений и выполнения QTL анализа комплекса морфофизиологических показателей, содержащего некоторые признаки технологичности (Rodda et al., 2018).

Использование современных инструментов молекулярной биологии в селекции чечевицы позволяет идентифицировать не только целевые гены технологичности, но и их аллельное состояние на любом этапе селекционного процесса (Дубина и Олимова, 2025). Это дает возможность классифицировать все изученные образцы на пригодные и непригодные для механизированной уборки. Совместная оценка фенотипического и генотипического разнообразия значительно сокращает объем селекционной работы и обеспечивает точечный отбор генотипов с нужными генами, а интеграция ДНК-маркеров в селекционные программы существенно ускоряет достижение запланированных результатов.

Повышение технологичности отечественных сортов чечевицы позволит проводить профессиональную механизированную уборку и сохранить при этом высокий уровень урожайности зерна.

В связи с этим мы провели идентификацию генов пригодности к механизированной уборке, на основе которой дифференцировали изученные генотипы мелкосеменной чечевицы на генетическом уровне.

Цель исследований – выявить степень воздействия локусов SNP, сцепленных с признаками пригодности к механизированной уборке, у коллекционных образцов мелкосеменной чечевицы разного географического происхождения и отобрать ценные генотипы для дальнейшей селекции культуры в регионе.

Материалы и методы исследований.

Коллекция сортообразцов мелкосеменной чечевицы оценивалась в течение трех вегетационных сезонов (2022–2024 гг.) на территории учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ,

Омская обл.). Исследовали 96 образцов чечевицы, отличающихся происхождением (Россия, Канада, Турция, Греция, Германия, Болгария, Молдова).

Как стандарт был взят среднеранний сорт Пикантная (оригинатор – ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго», г. Саратов)). Посев сортообразцов коллекционного питомника провели во второй декаде мая на делянках с учетной площадью 1 м² с площадью питания каждого растения 0,025 м². Повторность в опыте четырехкратная. Предшественник – яровая мягкая пшеница. Опытные делянки располагали систематически. Опытный участок расположен на лугово-черноземной среднесуглинистой почве. По результатам агрохимического анализа она характеризуется следующими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) составляет 3,95 %, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 154 и 236 мг/кг, кислотность почвы близка к нейтральной (рН_{сол.} 6,5), сумма обменных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ (по ГОСТ 26423-85) – соответственно 15,8 и 5,7 ммоль/100 г. При наступлении фазы созревания (на 2/3 куста отмечались созревшие бобы) уборку урожая провели вручную.

Данные по гидротермическим условиям в годы проведения исследований получены с сайта https://rp5.ru/Погода_в_Омске. В последние годы для Омской области характерны значительные колебания климатических условий. Из-за неравномерности выпадения осадков в большинстве муниципальных районов региона все чаще стали отмечаться засухи и засушливая погода в период посевной кампании, а в уборку – переувлажнение. Агроarii южной зоны области почти каждое лето сталкиваются с почвенной засухой. Зимы становятся мягче, весна наступает раньше, зимний период переносится на более поздний срок, а вегетационный период увеличивается. Зафиксированные погодные условия в исследуемые годы являются тому подтверждением. За вегетационный период чечевицы установлено превышение суммы активных температур ($t \geq 10^\circ\text{C}$) над среднемноголетней нормой (2173 °C) на 315 °C в 2022 г., в 2023 г. – на 310 °C, в 2024 г. – на 275 °C. По объему осадков также отмечено превышение над нормой на 30,72 % в 2022 г. (287,6 мм), на 3,2 % – в 2024 г., а в 2023 г. наблюдался недобор осадков на 8,5 % в сравнении со среднемноголетним значением (187,2 мм). В конечном итоге в 2022 и 2024 гг. сформировались слабо засушливые условия (ГТК = 1,02 и ГТК = 1,21 соответственно) и очень засушливые в 2023 г. (ГТК = 0,75) (Маракаева, 2024).

Лабораторные и полевые исследования коллекционных образцов чечевицы проводили по методическим указаниям по изучению зернобобовых культур Всероссийского НИИ

растениеводства им. Н. И. Вавилова (Корсаков и др., 1975).

Для проведения генотипирования 96 образцов мелкосеменной чечевицы провели отбор свежих листьев растений на 30-е сутки после посева. Генотипирование проводили с помощью технологии KASP по девяти маркерам, сопряженным с признаками пригодности к механизированной уборке, которые ранее были преобразованы из локусов SNP, выявленных в результате GWAS-анализа, в маркеры KASP. Геномную ДНК выделяли из молодых листьев при 3-кратной репликации с использованием протокола с модификациями, описанного Delaporta et al. (1983). Очистку выделенной ДНК проводили с использованием коммерческих наборов (Qiagen, Германия). Концентрацию и качество геномной ДНК измеряли спектрофотометрией (BioRad, США). Состав выделенной ДНК определяли по оптической плотности OD₂₆₀/OD₂₈₀. Концентрацию ДНК для каждого образца доводили до 50 нг/мкл. Праймеры, используемые в ПЦР, синтезированы компанией ООО «Биолабмикс» (Россия). ПЦР-продукты разделяли на 2%-м агарозном геле, окрашивали бромидом этидия, визуализацию проводили с помощью системы документирования геля Gel Doc XR+ («Bio-Rad», США).

Статистическую обработку данных, полученных в настоящем исследовании, проводили с помощью двухфакторного дисперсионного анализа в программе SPSS (PASW) Statistics 20.0 («IBM», США). Достоверность различий оценивали по наименьшей существенной разности при уровне значимости 5 (HCP₀₅), определяли средние значения показателей (M) и стандартные ошибки средних (\pm SEM). Значимость различий между усредненными значениями групп образцов оценивали с помощью t-критерия Стьюдента в Microsoft R Open 3.3.3. Разделение проводили на три группы: AA – доминантное, aa – рецессивное, Aa – гетерозиготное. Используя t-test, с помощью критерия Стьюдента устанавливали достоверность и суммарный эффект наличия SNP в различном аллельном состоянии. С помощью Welch Two Sample t-test в программе R-statistics выполняли t-test и получали значения критерия Стьюдента и различия по группам.

Наследуемость в широком смысле (H^2) рассчитывали по следующей формуле:

$$H^2 = \frac{V_g}{V_T}, \quad (1)$$

где V_g – суммы дисперсии, связанной с различиями в генотипе; V_T – общая дисперсия.

Результаты и их обсуждение. При фенотипической оценке образцов мелкосеменной чечевицы наблюдалась вариативность показателей пригодности к механизированной уборке в течение трех вегетационных периодов изучения (табл. 1). Высота находилась в пределах 35,44–39,52 см, а высота расположения нижних бобов изменялась от 18,50 до 21,36 см.

Таблица 1. Характеристика образцов коллекции мелкосеменной чечевицы по показателям, связанным с пригодностью к механизированной уборке (среднее за 2022–2024 гг.)
Table 1. Characteristics of the small-seeded lentil samples according to indicators of suitability for mechanical harvesting (mean in 2022–2024)

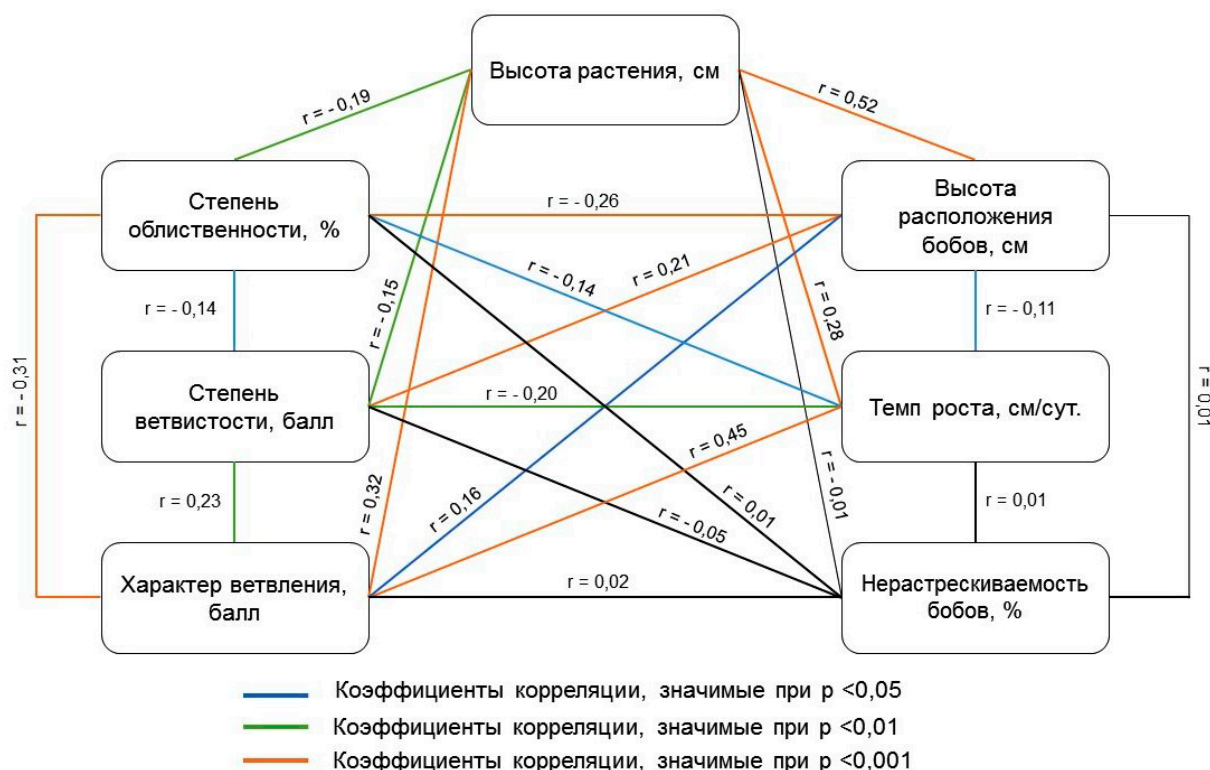
Показатель	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	значение	H ²	значение	H ²	значение	H ²
Высота растения, см	39,35±0,78	0,95	35,44±0,77	0,97	39,52±1,15	0,93
Высота расположения бобов, см	18,50±0,47	0,95	21,36±0,63	0,97	18,83±0,55	0,93
Степень ветвистости, балл	5,01±0,08	0,95	4,31±0,03	0,98	5,19±0,10	0,92
Степень облиственности, %	60,40±1,79	0,92	59,19±1,76	0,98	60,75±1,81	0,93
Темп роста, см/сут.	0,70±0,02	0,97	0,69±0,02	0,97	0,72±0,04	0,93
Характер ветвления, балл	3,36±0,16	0,96	3,31±0,15	0,97	3,38±0,17	0,96
Нерастрескиваемость бобов, %	82,59±1,61	0,96	89,07±1,71	0,98	83,70±1,67	0,92

Благоприятными для роста и развития оказались очень засушливые условия 2023 г., когда отмечен более компактный куст у растения чечевицы, связанный со слабой степенью ветвистости (1–4 ветви первого и последующего порядков), степенью облиственности менее 60 % и среднесуточным приростом менее 0,70 см в сутки. Также в 2023 г. наблюдалось меньшее растрескивание бобов (10,93 %) – на 6–7 % по сравнению с остальными годами представленных исследований.

Хотя коллекция мелкосеменной чечевицы отличается разнообразием по географическому происхождению образцов, все проанализи-

рованные характеристики демонстрировали широкую наследуемость, превышающую 0,90.

В результате изучения взаимосвязей признаков пригодности к механизированной уборке у образцов мелкосеменной чечевицы отмечена высокая корреляция высоты расположения нижних бобов с высотой растения ($r = 0,52$), но слабая со степенью ветвистости ($r = 0,21$) и характером ветвления ($r = 0,16$), что свидетельствует о существенном снижении технологичности сортообразцов из разных экологических групп, неадаптированных к условиям Западной Сибири (см. рисунок).



Коэффициенты корреляции (r) между показателями пригодности к механизированной уборке у коллекционных образцов мелкосеменной чечевицы в период 2022–2024 годов
Correlation coefficients (r) between indicators of suitability for mechanical harvesting in the small-seeded lentil samples in 2022–2024

Отрицательные значения коэффициентов корреляции высоты расположения нижних бобов и степени облиственности ($r = -0,26$) можно рассматривать как снижение технологичности

за счет увеличения индекса листовой поверхности. Характер ветвления оказал положительное влияние на степень ветвистости ($r = 0,23$). Это связано с тем, что при ветвлении растений

чечевицы преимущественно в нижней части образуется больше ветвей первого и последующего порядков.

Отрицательная корреляция степени ветвистости с темпом роста ($r = -0,20$) и высотой растения ($r = -0,16$) указывает на то, что при увеличении числа ветвей увеличивается его вегетативная масса, а не высота. А вот характер ветвления по всему стеблю растения

положительно влияет на его среднесуточный прирост ($r = 0,45$).

Фенологическая оценка сортообразцов чечевицы в полевых и лабораторных условиях позволила определить вклад определенных генов в фенотипическое проявление признаков пригодности к механизированной уборке (табл. 2).

Таблица 2. Вклад KASP-маркеров в фенотипическое проявление признаков пригодности к механизированной уборке, 2022–2024 годы

Table 2. Contribution of KASP markers to the phenotypic expression of suitability for mechanical harvesting (2022–2024)

KASP ID	Благоприятный аллель**	Год	Критерий Стьюдента (p)	R ² , %	SNP-эффект*
Степень облиственности (%)					
LcRBContig00050	A/G	2022	0,014	8,21	-13,7
		2023	0,10	5,13	-10,7
		2024	0,017	10,82	-14,5
Степень ветвистости, балл					
LcRBContig00065	A/G	2022	0,011	5,81	-0,41
		2023	0,82	1,11	-0,01
		2024	0,031	8,93	-0,52
Темп роста (см/сут.)					
LcRBContig00079	A/G	2022	0,038	5,46	0,54
		2023	0,021	6,62	0,41
		2024	0,051	7,81	2,55
LcRBContig00158	A/M	2022	0,015	5,11	0,61
		2023	0,018	7,31	0,46
		2024	0,028	4,82	0,71
Высота расположения бобов (см)					
LcRBContig00534	A/G	2022	0,05	5,22	1,72
		2023	0,10	2,85	0,30
		2024	0,011	6,44	3,48
Характер ветвления (балл)					
LcRBContig00133	A/G	2022	0,015	4,82	1,58
		2023	0,025	5,73	1,18
		2024	0,016	6,81	1,74
LcRBContig00805	A/G	2022	0,034	8,49	0,42
		2023	0,027	5,83	0,29
		2024	0,021	6,53	1,65
Высота растения (см)					
LcRBContig01123	A/G	2022	0,68	2,34	1,77
		2023	0,093	4,91	6,70
		2024	0,018	7,74	7,95
Нерастрескиваемость бобов (%)					
LcRBContig00067	A/G	2022	0,018	8,31	4,16
		2023	0,03	6,45	3,31
		2024	0,001	10,91	4,78

Примечание. * – в таблице указаны SNP, имеющие достоверный эффект в течении двух и более лет при значении критерия Стьюдента до 0,05, а значения R² – до 5 %. ** – в таблице указаны сокращения: А-аденин, G-гуанин, М-гетерозиготное состояние в двух вариантах – А-аденин, С-цитозин. Благоприятный аллель выделен жирным шрифтом.

Статистическая обработка полученных результатов выявила, что все гены, идентифицированные с помощью технологии KASP, внесли определенный вклад в пригодность растений чечевицы к механизированной уборке в течение всего периода изучения. Для признака степень облиственности растения выявлен один SNP (LcRBContig00050) с фенотипиче-

ской дисперсией облиственности по маркеру LcRBContig00050 от 5,21 до 6,83 %.

Наличие благоприятных аллелей LcRBContig00050 и LcRBContig00065 уменьшает вегетативную массу растения на 10–30 % за счет снижения степени ветвистости и облиственности, тем самым увеличивая устойчивость к полеганию агрофитоценоза чечевицы в пределах

15–20 %. Для признака «темп роста» выявлено два SNP (LcRBContig00079 и LcRBContig00158) с процентом фенотипической изменчивости, объясняемой структурой популяции, 4,82–7,81 %. Благоприятные аллели данных маркеров статистически значимо ускоряют среднесуточный прирост растения на 0,41–2,55 см на ранних этапах развития. Высота растения играет ключевую роль при механизированной уборке чечевицы и влияет на результаты полученного урожая. Наличие SNP LcRBContig01123 значительно увеличивает данный показатель (на 1,77–7,95 см). На высоту расположения нижних бобов благоприятно оказывает влияние SNP LcRBContig0534, повышая ее на 0,30–3,48 см, что положительно сказывается на снижении производственных потерь зерна. Наличие благоприятных аллелей

LcRBContig00133 и LcRBContig00805 обеспечивает ветвление растения чечевицы по всему стеблю (3 балла), а не преимущественно в нижнем ярусе (7 баллов), что увеличивает его устойчивость и уменьшает разваливание куста, приводящее к значительному полеганию. Нерастрескиваемость бобов в период созревания входит в категорию важных показателей технологичности, для которого в ходе исследований также установлен ассоциированный SNP (LcRBContig00067). Положительный эффект данного маркера заключается в увеличении процента нерастрескиваемых бобов до 90 %.

В результате исследований определены образцы мелкосеменной чечевицы, обладающие наибольшим числом благоприятных аллелей и высокими показателями технологичности по сравнению со стандартами (табл. 3).

Таблица 3. Показатели пригодности к механизированной уборке образцов мелкосеменной чечевицы с максимальным числом благоприятных аллелей (в среднем за 2022–2024 гг.)
Table 3. Indicators of suitability for mechanical harvesting of the small-seeded lentil samples with the maximum number of favorable alleles (mean in 2022–2024)

Образец	Страна	Высота растения, см	Высота расположения бобов, см	Степень облиственности, %	Темп роста, см/сут.	Нерастрескиваемость бобов, %	Количество благоприятных аллелей, шт.
Пикантная, стандарт	Россия	27,22	14,23	47,23	0,79	81,76	4
Redcap	Канада	45,24	22,65	54,36	0,91	87,41	6
Pardina Linsen	Германия	44,63	19,64	45,15	0,64	86,67	6
Крапинка	Казахстан	33,54	19,81	51,42	0,62	84,29	4
Орловская краснотерная	Россия	38,65	18,03	45,34	0,64	86,67	6
КДЦ Кермит	Канада	43,42	19,87	54,63	0,65	86,71	5
Северная	Россия	33,21	20,35	73,54	0,68	84,92	4
Рубиновая	Россия	38,64	19,66	55,37	0,56	85,32	5
НСР ₀₅	4,52	3,62	2,12	0,09	2,94	–	

В нестабильных климатических условиях Омской области лучшие образцы мелкосеменной чечевицы, обладающие 4–6 благоприятными аллелями, достоверно превзошли сорт-стандарт по признакам пригодности к механизированной уборке, показав высоту растения 33,42 – 45,24 см, высоту расположения нижних бобов выше 18 см, степень облиственности от 45,15 до 73,54 %, слабую степень ветвистости, среднесуточный прирост 0,62–0,91 см/сут., оптимальный характер ветвления по всему стеблю и высокий процент нерастрескиваемости бобов (84,29–87,41 %).

Наличие благоприятных аллелей, ассоциированных со степенью ветвистости (LcRBContig00050), нерастрескиваемостью бобов (LcRBContig00067), высотой расположения нижних бобов (LcRBContig0534) и характером ветвления (LcRBContig00133) отмечено у всех отобранных образцов. У образцов КДЦ Кермит (Канада), Redcap (Канада), Pardina Linsen (Германия), Орловская краснотерная (Россия) и Рубиновая (Россия), помимо вышеперечисленных, зафиксированы благоприятные аллели, связанные с высотой рас-

тения (LcRBContig01123). Также у образцов Pardina Linsen (Германия) и Орловская краснотерная (Россия) отмечено наличие благоприятного аллеля степени облиственности (LcRBContig00065), а у образца Redcap (Канада) – темпа роста (LcRBContig00079).

Выводы.

1. Благоприятными для роста и развития оказались очень засушливые условия 2023 г., когда отмечен более компактный куст у растения чечевицы, связанный со слабой степенью ветвистости (1–4 ветви первого и последующего порядков), степенью облиственности менее 60 % и среднесуточным приростом менее 0,70 см в сутки и меньшим по сравнению с остальными годами представленными исследований растрескиванием бобов (10,93 %) на 6–7 %.

2. У изученных образцов мелкосеменной чечевицы отмечена широкая наследуемость признаков пригодности к механизированной уборке, превышающая 0,90.

3. Отмечена положительная корреляция высоты растения с высотой расположения нижних бобов ($r = 0,52$), степенью вет-

вистости ($r = 0,21$) и характером ветвления ($r = 0,16$). Характер ветвления оказал положительное влияние на степень ветвистости растения ($r = 0,23$) и его среднесуточный прирост ($r = 0,45$).

4. Зафиксирована отрицательная корреляция высоты расположения нижних бобов со степенью облиственности ($r = -0,26$), степени ветвистости с темпом роста ($r = -0,20$) и высотой растения ($r = -0,16$).

5. Однонуклеотидные полиморфизмы признаков «высота растения» и «высота расположения бобов» (LcRBContig01123 и LcRBContig0534) увеличивают их значение на 2–8 см, что положительно сказывается на снижении производственных потерь зерна. Наличие благоприятных аллелей LcRBContig00050 и LcRBContig00065 уменьшает вегетативную массу растения на 10–30 % за счет снижения степени ветвистости и облиственности, тем самым увеличивая устойчи-

вость к полеганию агрофитоценоза чечевицы в пределах 15–20 %. Благоприятные аллели LcRBContig00079 и LcRBContig00158 статистически значимо ускоряют среднесуточный прирост растения на 0,35–0,91 см на ранних этапах развития. Положительный эффект от SNP LcRBContig00067 заключается в увеличении процента нестрескиваемых бобов до 90 %.

6. Лучшие отобранные образцы мелкосеменной чечевицы показывали высоту растения 33,42–45,24 см, высоту расположения нижних бобов – выше 18 см, степень облиственности – от 45,15 до 73,54 %, слабую степень ветвистости, среднесуточный прирост 0,62–0,91 см/сут., оптимальный характер ветвления по всему стеблю и высокий процент нестрескиваемости бобов (84,29–87,41 %).

Финансирование. Научно-исследовательская работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-20033 (<https://rscf.ru/project/24-26-20033/>).

Библиографический список

1. Быкова В. А. Производство зерновых и зернобобовых культур в Сибирском федеральном округе в контексте обеспечения продовольственной безопасности // *Продовольственная политика и безопасность*. 2023. Т. 10, № 3. С. 471–482. DOI: 10.18334/ppib.10.3.118249
2. Дубина Е. В., Олимова З. К. Применение молекулярно-генетических методов в селекции риса на холодоустойчивость // *Зерновое хозяйство России*. 2025. Т. 17, № 1. С. 54–60. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-54-60
3. Корсаков Н. И., Адамова О. А., Будакова В. И. Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Л.: ВИР, 1975. 59 с.
4. Маракаева Т. В. Оценка образцов тарелочной чечевицы по хозяйственно-биологическим показателям // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2024. Т. 19, № 4(76). С. 49–55. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-49-55
5. Fedoruk M. J., Vandenberg A., Bett K. E. Quantitative analysis of trait loci for mechanical harvesting suitability of lentils using single nucleotide polymorphism markers // *The Plant Genome*. 2013. Vol. 6(3), P. 1–10.
6. Chen X., Huang L., Fan J., Yan Sh., Zhou G., Zhang J. KASP-IEva: an intelligent typing evaluation model for KASP primers // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 14, DOI: 10.3389/fpls.2023.1293599
7. Delaporta S. L., Wood J., Hicks J. B. A plant DNA miniprep: Version II // *Plant Molecular Biology Reporter*. 1983. Vol. 1(4), P. 19–21. DOI: 10.1007/bf02712670
8. Majeed U., Darwish E., Rehman S.U., Zhang X. Kompetitive allele specific PCR (KASP): a singleplex genotyping platform and its application // *Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 11, P. 11–20. DOI: 10.5539/jas.v11n1p11
9. Rodda M. S., Sudheesh S., Javid M., Noy D., Gnanasambandam A., Slater A. T., Rosewarne G. M., Kaur S. Breeding for boron tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik.) using a high-throughput phenotypic assay and molecular markers // *Plant Breeding*. 2018. Vol. 137, P. 492–501. DOI: 10.1111/pbr.12608
10. Sharpe A. G., Ramsay L., Sanderson LA., Fedoruk M. J., Clarke W. E., Li R., Kagale S., Vijayan P., Vandenberg A., Bett K. E. Ancient orphan crop joins modern era: gene-based SNP discovery and mapping in lentil // *BMC Genomics*. 2013. Vol. 14(1), P. 1–13. DOI: 10.1186/1471-2164-14-192
11. Wang D., Li N., Wang X., Zhang X., Li R., Pu Y., Li Z., Tian Q., Ding H., Yang T., Liu R., Li G., Huang Y., Ji Y., Zong X., Sarker A. RNA-Seq analysis and development of SSR and KASP markers in lentil (*Lens culinaris* Medikus subsp. *culinaris*) // *The Crop Journal*. 2020. Vol. 8(6), P. 953–965. DOI: 10.1016/j.cj.2020.04.007

References

1. Bykova V. A. Proizvodstvo zernovykh i zernobobovykh kul'tur v Sibirskom federal'nom okruge v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoi bezopasnosti [Production of grain and legume crops in the Siberian Federal District to enforce food security] // *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*. 2023. T. 10, № 3. S. 471–482. DOI: 10.18334/ppib.10.3.118249
2. Dubina E. V., Olimova Z. K. Primenenie molekulyarno-geneticheskikh metodov v selektsii risa na kholodoustoichivost' [Application of molecular genetic methods in rice breeding for cold resistance] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2025. T. 17, № 1. S. 54–60. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-54-60
3. Korsakov N. I., Adamova O. A., Budakova V. I. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kolleksii zernovykh bobovykh kul'tur [Methodological recommendations for studying a collection of grain legumes]. L.: VIR, 1975. 59 s
4. Marakaeva T. V. Otsenka obraztsov tarelochnoi chechevitsy po khozyaistvenno-biologicheskim pokazatelyam [Estimation of plate lentil samples for economic and biological indicators] // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024. T. 19, № 4(76). S. 49–55. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-49-55

5. Fedoruk M. J., Vandenberg A., Bett K. E. Quantitative analysis of trait loci for mechanical harvesting suitability of lentils using single nucleotide polymorphism markers // *The Plant Genome*. 2013. Vol. 6(3), P. 1–10.
6. Chen X., Huang L., Fan J., Yan Sh., Zhou G., Zhang J. KASP-IEva: an intelligent typing evaluation model for KASP primers // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 14, DOI: 10.3389/fpls.2023.1293599
7. Delaporta S. L., Wood J., Hicks J. B. A plant DNA miniprep: Version II // *Plant Molecular Biology Reporter*. 1983. Vol. 1(4), P. 19–21. DOI: 10.1007/bf02712670
8. Majeed U., Darwish E., Rehman S.U., Zhang X. Kompetitive allele specific PCR (KASP): a singleplex genotyping platform and its application // *Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 11, P. 11–20. DOI:10.5539/jas.v11n1p11
9. Rodda M. S., Sudheesh S., Javid M., Noy D., Gnanasambandam A., Slater A. T., Rosewarne G. M., Kaur S. Breeding for boron tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik.) using a high-throughput phenotypic assay and molecular markers // *Plant Breeding*. 2018. Vol. 137, P. 492–501. DOI: 10.1111/pbr.12608
10. Sharpe A. G., Ramsay L., Sanderson LA., Fedoruk M. J., Clarke W. E., Li R., Kagale S., Vijayan P., Vandenberg A., Bett K. E. Ancient orphan crop joins modern era: gene-based SNP discovery and mapping in lentil // *BMC Genomics*. 2013. Vol. 14(1). P. 1–13. DOI: 10.1186/1471-2164-14-192
11. Wang D., Li N., Wang X., Zhang X., Li R., Pu Y., Li Z., Tian Q., Ding H., Yang T., Liu R., Li G., Huang Y., Ji Y., Zong X., Sarker A. RNA-Seq analysis and development of SSR and KASP markers in lentil (*Lens culinaris* Medikus subsp. *culinaris*) // *The Crop Journal*. 2020. Vol. 8(6), P. 953–965. DOI: 10.1016/j.cj.2020.04.007

Поступила: 13.05.25; доработана после рецензирования: 23.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Маракаева Т. В. – выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных, концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА КОРМОВОЙ МАССЫ СОРТОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЭСПАРЦЕТА

А. А. Регидин, научный сотрудник лаборатории многолетних трав mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;

К. Н. Горюнов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории многолетних трав mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5685-6508
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Цель работы – оценка продуктивности и качества кормовой массы сортов и перспективных линий эспарцета. Исследования проводили в 2021–2024 гг., объектами исследований являлись 5 районированных сортов и 6 перспективных линий эспарцета, сорт-стандарт – Зерноградский 2. Изучение проводили в питомниках конкурсного сортоиспытания. В среднем за весь период изучения стандартный сорт формировал урожайность зеленой массы 23,0 т/га, достоверное превышение над стандартом было у сортов Велес (25,5 т/га), Атаманский 20 (27,1 т/га) и всех изучаемых линий (25,4–30,2 т/га). У сорта-стандарта высота растений в среднем составляла 100 см, достоверное превышение было у линий Син 6/93 (105 см), Син 7/93 (104 см), Син 23/93 (104 см) и Син 3/2015 (107 см), остальные сорта и линии были на уровне или существенно ниже стандарта. У изучаемых сортов и линий облиственность растений варьировала от 40 до 48 % в среднем за три цикла исследований. Выход сена сорта-стандарта составлял в среднем 21 %, достоверное превышение отмечалось у сортов Велес и Сударь (23 и 24 % соответственно), а также у линий Син 7/93 и Син 3/2015 (24 и 23 % соответственно). Урожайность сена в среднем за три цикла была в пределах 4,8–6,9 т/га. Наибольший показатель отмечен у линии Син 3/2015 (6,9 т/га). В среднем за все годы изучения содержание сырого протеина в изучаемых сортах и линиях было на достаточно высоком уровне и варьировало в пределах 15,99–22,24 %. Проведенный анализ корреляционных зависимостей изучаемых признаков с урожайностью зеленой массы показал сильную положительную связь ($r = 0,81 \pm 0,06$) урожайности сена, средние положительные связи высоты растений ($r = 0,61 \pm 0,08$), облиственности ($r = 0,46 \pm 0,09$) и сырого протеина ($r = 0,62 \pm 0,08$).

Ключевые слова: эспарцет, сорт, линия, урожайность, качество корма.

Для цитирования: Регидин А. А., Горюнов К. Н. Оценка продуктивности и качества кормовой массы сортов и перспективных линий эспарцета // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 42–45. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-42-45.



ESTIMATION OF PRODUCTIVITY AND QUALITY OF FORAGE OF THE SAINFOIN VARIETIES AND PROMISING LINES

A. A. Regidin, researcher of the laboratory for perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;

K. N. Goryunov, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5685-6508
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The purpose of the current study was to estimate productivity and quality of forage of the sainfoin varieties and promising lines. The study was conducted from 2021 to 2024, focusing on five zoned varieties and six promising lines of sainfoin, including the standard variety 'Zernogradsky 2'. The study was conducted in the competitive variety testing nurseries. On average, the standard variety produced 23.0 t/ha green mass over the entire period of the study. The varieties 'Veles' (25.5 t/ha), 'Atamansky 20' (27.1 t/ha), and all studied lines (25.4–30.2 t/ha) significantly exceeded the standard. The standard variety had a mean plant height of 100 cm, the lines 'Sin 6/93' (105 cm), 'Sin 7/93' (104 cm), 'Sin 23/93' (104 cm), and 'Sin 3/2015' (107 cm) had a significant increase, the remaining varieties and lines were either at or significantly below the standard. The foliage of the studied varieties and lines ranged from 40 % to 48 % on average over the three cycles of the study. The hay yield of the standard variety averaged 21 %. A significant excess was identified in the varieties 'Veles' and 'Sudar' (23 and 24 %), as well as in the lines 'Sin 7/93' and 'Sin 3/2015' (24 and 23 %). Hay yields averaged 4.8–6.9 t/ha over the three cycles. The line 'Sin 3/2015' was of the largest productivity with 6.9 t/ha. On average, crude protein percentage in the studied varieties and lines was quite high over all years of study, varying between 15.99–22.24 %. The conducted analysis of the correlations of the studied traits with green mass productivity has shown a strong positive correlation ($r = 0.81 \pm 0.06$) of hay yield, mean positive correlations of plant height ($r = 0.61 \pm 0.08$), foliage ($r = 0.46 \pm 0.09$) and crude protein ($r = 0.62 \pm 0.08$).

Keywords: sainfoin, variety, line, productivity, forage quality.

Введение. Развитие животноводства как одной из важнейших отраслей сельского хозяйства является актуальной и необходимой задачей. Продукция животноводства повсеместно используется как в пределах нашей

страны, так и в качестве экспортных товаров, что положительно влияет на экономическую стабильность Российской Федерации. Для поддержания высокого уровня развития животноводческой отрасли необходимо своевременно

и в требуемом количестве производить высокобелковые корма. Выполнению этой задачи способствует выращивание многолетних бобовых трав, в частности эспарцета (Зотиков и Вилунов, 2021, Косолапов и др., 2021).

Эспарцет – многолетняя бобовая культура, которой на сегодняшний день все чаще отдают предпочтение при формировании кормовых севооборотов. Ценность эспарцета как кормовой культуры обуславливается неприхотливостью к почвенным условиям, устойчивостью к засухе и морозным бесснежным зимам. Мощная, достигающая 2 м, стержневая корневая система этой культуры позволяет переносить засушливые условия, которые становятся все более частыми на юге России (Гасиев и др., 2017, Воронин и др., 2018). При этом эспарцет формирует высокую урожайность кормовой массы в более ранние сроки в сравнении с люцерной. Эспарцет является хорошим медоносом – с одного гектара возможно получение до 150 кг меда (Золотарев и др., 2019).

Для выведения новых высокоурожайных сортов эспарцета с хорошим качеством корма ведется селекция на кормовую продуктивность, результатами которой являются перспективные линии эспарцета. Сравнение их с уже районированными сортами позволяет оценить потенциал продуктивности новых линий в одинаковых условиях. Поэтому, помимо перспективных линий, для изучения в объектную группу были включены сорта эспарцета Зерноградский 2 (стандарт), Велес, Сударь, Шурави и Атаманский 20, районированные и допущенные к использованию в разные годы.

Цель работы – оценка продуктивности и качества кормовой массы сортов и перспективных линий эспарцета.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили на полях лаборатории селекции и семеноводства многолетних

трав ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2024 годах. Объектами исследований являлись пять районированных сортов и шесть перспективных линий эспарцета, сорт-стандарт – Зерноградский 2. Изучение проводили в питомниках конкурсного сортоиспытания посева 2020, 2021 и 2022 годов. Учетная площадь деланки 20 м², повторность четырехкратная. Наблюдения и учеты выполняли по общепринятым методикам. Посев осуществляли селекционной сеялкой «Деметра» в оптимальные сроки. Уборку зеленой массы производили в фазу начала цветения эспарцета.

Погодные условия в годы исследований складывались разнообразно. В весенний период 2021 г. количество осадков было на 27–124 % выше среднемноголетних показателей. В летний и осенний периоды ощущался недостаток влаги на фоне высоких температур. Недостаток влаги был и в зимний период. Условия весны 2022 г. были близки к среднемноголетним, а летний и осенний периоды характеризовались низким количеством (70 % от среднемноголетних значений) осадков ливневого характера на фоне высоких среднемесячных температур. Зимний и начало весеннего периода 2023 г. также характеризовались недостаточным количеством осадков, однако в апреле и мае выпало 191 % от среднемноголетней нормы. Лето было жарким и с небольшим (62 % от нормы) количеством осадков. Условия последующих осеннего и зимнего периодов были близки к среднемноголетним показателям по количеству осадков, а в весенний и летний периоды 2024 г. наблюдались высокие (на 2,9–5,9 °C выше нормы) среднемесячные температуры и низкое количество осадков (65–70 % от нормы).

Результаты и их обсуждение. Урожайность зеленой массы сортов и линий эспарцета учитывалась в течение трех циклов выращивания (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зеленой массы сортов и линий эспарцета (2021–2024 гг.)
Table 1. Productivity of green mass of sainfoin varieties and lines (2021–2024)

Сорт/линия	Урожайность зеленой массы, т/га							CV, %, сорт/линия
	посев 2020 г.		посев 2021 г.		посев 2022 г.		Средняя	
	2021	2022	2022	2023	2023	2024		
Зерноградский 2, st	23,3	26,0	27,4	18,4	22,9	19,9	23,0	15,0
Велес	26,7	22,8	26,1	18,6	32,6	26,3	25,5	18,2
Сударь	26,5	24,3	27,8	19,1	26,6	21,5	24,3	14,0
Шурави	29,0	23,4	26,8	19,0	25,8	20,8	24,1	15,7
Атаманский 20	28,4	25,5	29,2	24,1	30,7	24,8	27,1	9,9
Син 6/93	26,2	23,1	26,4	31,6	24,8	20,0	25,4	15,3
Син 7/93	22,5	20,9	23,9	23,9	29,8	32,3	25,6	17,5
Син 4/93	22,5	26,6	30,5	24,4	28,5	23,0	25,9	12,2
ГИА 5	26,2	22,2	25,4	25,6	34,1	27,5	26,8	14,7
Син 23/93	24,4	26,7	30,6	22,8	26,6	21,5	25,4	12,8
Син 3/2015	27,6	33,5	32,5	26,0	32,9	28,4	30,2	10,6
НСР ₀₅	2,3	3,4	2,6	4,1	3,5	4,0	1,9	—
Средняя по году	25,8	25,0	27,9	23,0	28,2	23,8	25,3	
CV, %. год	8,8	13,6	9,2	17,6	12,6	16,8	7,4	

Урожайность зеленой массы посева 2020 г. в среднем составляла 25,8 т/га в условиях 2021 г.

и 25,0 т/га в 2022 году. В первый год урожая стандарт сформировал урожайность 23,3 т/га,

сорта Велес, Сударь, Шурави, Атаманский 20 и линии Син 6/93, ГИА 5 и Син 3/2015 достоверно превосходили его с показателями 26,2–27,6 т/га. Во второй год урожая достоверное превышение было отмечено только у линии Син 3/2015 (33,5 т/га), остальные сорта и линии были на уровне или ниже стандарта (26,0 т/га). Коэффициент вариации был низким (8,8 %) в условиях 2021 г. и средним (13,6 %) в условиях 2022 года.

Средняя урожайность зеленой массы сортов и линий эспарцета в первый и второй годы урожая посева 2021 г. существенно (на 4,9 т/га) различалась. В первый год урожая изучаемые сорта и линии формировали урожайность от 23,9 до 32,5 т/га, достоверно превышали стандарт линии Син 4/93, Син 23/93 и Син 3/2015 с урожайностью 30,5; 30,6 и 32,5 т/га соответственно. Во второй год урожая стандарт Зерноградский 2 сформировал относительно низкую урожайность зеленой массы (18,4 т/га), сорта Велес, Сударь и Шурави были на уровне стандарта, а сорт Атаманский 20 и все изучаемые линии достоверно превышали стандарт (22,8–31,6 т/га), наибольшей урожайностью была у линии Син 6/93. В условиях 2022 г. коэффи-

циент вариации был низким (8,8 %), в 2023 г. – средним (17,6 %).

В 2023 г. средняя урожайность зеленой массы изучаемых сортов и линий посева 2022 г. составила 28,2 т/га, в 2024 г. – 23,8 т/га. За двухлетний цикл выращивания сорта Велес, Атаманский 20 и линии Син 7/93, ГИА 5 и Син 3/2015 достоверно превосходили стандарт, их урожайность в 2023 г. была в пределах 29,8–34,1 т/га, в 2024 г. – 24,8–32,3 т/га при коэффициентах вариации 12,6 и 16,8 % соответственно.

В среднем за весь период изучения стандартный сорт формировал урожайность зеленой массы 23,0 т/га, достоверное превышение над стандартом было у сортов Велес (25,5 т/га), Атаманский 20 (27,1 т/га) и всех изучаемых линий (25,4–30,2 т/га). Наименьший коэффициент вариации по годам был у сорта Атаманский 20 (9,9 %), у остальных изучаемых сортов и линий он был средним (12,2–18,2 %).

Одной из важных составляющих урожайности кормовой массы является высота растений. В среднем за все годы изучения сорта и образцы эспарцета формировали высоту растений в пределах 95–107 см (табл. 2).

Таблица 2. Основные хозяйственно-биологические свойства сортов и линий эспарцета (среднее за 2021–2024 гг.)

Table 2. Main economic and biological properties of sainfoin varieties and lines (mean in 2021–2024)

Сорт/линия	Высота растений, см	Облиственность, %	Выход сена, %	Урожайность сена, т/га	Сырой протеин, %
Зерноградский 2, st	100	42	21	4,8	17,34
Велес	99	45	23	5,9	16,74
Сударь	95	47	24	5,8	20,13
Шурави	96	41	20	4,8	16,05
Атаманский 20	101	48	21	5,7	19,32
Син 6/93	105	42	21	5,3	15,99
Син 7/93	104	40	24	6,1	18,17
Син 4/93	102	47	21	5,4	19,71
ГИА 5	100	42	22	5,9	16,85
Син 23/93	104	48	20	5,1	17,40
Син 3/2015	107	48	23	6,9	22,24
НСР ₀₅	3,71	3,17	1,47	0,62	1,96
Коэффициент корреляции с урожайностью зеленой массы	0,61	0,46	0,23	0,81	0,62

У сорта-стандарта высота растений в среднем составляла 100 см, достоверное превышение было у линий Син 6/93 (105 см), Син 7/93 (104 см), Син 23/93 (104 см) и Син 3/2015 (107 см), остальные сорта и линии были на уровне или существенно ниже стандарта.

Облиственность растений является важным показателем для кормовых культур, так как в листочках содержится основная питательная ценность получаемого корма. У изучаемых сортов и линий этот показатель варьировал от 40 до 48 % в среднем за три цикла исследований. При облиственности стандарта Зерноградский 2 42 % достоверное превышение было отмечено у сортов Сударь (47 %), Атаманский 20 (48 %) и линий Син 4/93 (47 %), Син 23/93 (48 %) и Син 3/2015 (48 %).

Выход сена стандарта составлял в среднем 21 %, достоверное превышение отмечалось у сортов Велес и Сударь (23 и 24 %), а также у линий Син 7/93 и Син 3/2015 (24 и 23 %). Урожайность сена в среднем за три цикла была в пределах 4,8–6,9 т/га. Наибольший показатель отмечен у линии Син 3/2015 (6,9 т/га), достоверное превышение над стандартным сортом (4,8 т/га) было также у сортов Велес, Сударь, Атаманский 20 и линий Син 7/93 и ГИА 5, урожайность сена которых варьировала от 5,7 до 6,1 т/га.

Наряду с урожайностью кормовой массы, немаловажным показателем является качество корма, основная составляющая которого – содержание сырого протеина в абсолютно сухом веществе. В среднем за все годы изучения со-

держание сырого протеина в изучаемых сортах и линиях было на достаточно высоком уровне и варьировало в пределах 15,99–22,24 %. Наиболее высокими и достоверно превышающими стандарт показателями отметились сорта Сударь (20,13 %), Атаманский 20 (19,32 %) и линии Син 4/93 (19,71 %) и Син 3/2015 (22,24 %), у сорта Зерноградский 2 содержание сырого протеина составляло 17,34 %.

Проведенный анализ корреляционных зависимостей изучаемых признаков с урожайностью зеленой массы показал сильную положительную связь ($r = 0,81 \pm 0,06$) урожайности сена, средние положительные связи высоты растений ($r = 0,61 \pm 0,08$), облиственности ($r = 0,46 \pm 0,09$) и сырого протеина ($r = 0,62 \pm 0,08$).

Выводы. Оценка сортов и перспективных линий эспарцета по признакам кормо-

вой продуктивности показала, что районированные сорта не уступают и превышают стандартный сорт по одному или нескольким показателям. Перспективные линии эспарцета с урожайностью зеленой массы в среднем за годы изучения в пределах 25,4–30,2 т/га и достаточно высоким качеством корма будут изучаться в дальнейшем, а линия Син 3/2015, превышавшая стандартный сорт по всем изучаемым показателям, в перспективе будет передана на Государственное сортоиспытание как высокоурожайный сорт с высоким качеством корма.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № 0505-2025-0010 «Аграрный научный центр «Донской»

Библиографический список

1. Воронин А. Н., Соловichenko В. Д., Никитин В. В. Реакция эспарцета на различные способы основной обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 6. С. 18–20. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10604
2. Гасиев В. И., Бекузарова С. А., Калоев Б. С., Осикина Р. В. Продуктивность эспарцета в зависимости от норм высева и способов посева // Известия Горского государственного аграрного университета. 2017. Т. 54, № 2. С. 37–43.
3. Золотарев В. Н., Иванов И. С., Сапрыкин С. В., Чекмарева А. В. Биологические особенности и технология возделывания эспарцета песчаного на семена в степной зоне Центрально-Черноземного региона в условиях аридизации климата // Кормопроизводство. 2019. № 8. С. 19–27.
4. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 381–387. DOI: 10.18699/vj21.041
5. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 401–407. DOI: 10.18699/vj21.044

References

1. Voronin A. N., Solovichenko V. D., Nikitin V. V. Reaktsiya espartseta na razlichnye sposoby osnovnoi obrabotki pochvy [Sainfoin response to various primary tillage methods] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 6. S. 18–20. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10604
2. Gasiev V. I., Bekuzarova S. A., Kaloev B. S., Osikina R. V. Produktivnost' espartseta v zavisimosti ot norm vyseva i sposobov poseva [Sainfoin productivity depending on seeding rates and sowing methods] // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. T. 54, № 2. S. 37–43.
3. Zolotarev V. N., Ivanov I. S., Saprykin S. V., Chekmareva A. V. Biologicheskie osobennosti i tekhnologiya vozdeliyaniya espartseta peschanogo na semena v stepnoi zone Tsentral'no-Chernozemnogo regiona v usloviyakh aridizatsii klimata [Biological characteristics and technology of sandy sainfoin cultivation for seed in the steppe area of the Central Blackearth region under arid climate] // Kormoproizvodstvo. 2019. № 8. S. 19–27.
4. Zotikov V. I., Vilyunov S. D. Sovremennaya selektsiya zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii [Modern breeding of legumes and groats in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 4. S. 381–387. DOI: 10.18699/vj21.041
5. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. Razvitie sovremennoi selektsii i semenovodstva kormovykh kul'tur v Rossii [Development of modern breeding and seed production of forage crops in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 4. S. 401–407. DOI: 10.18699/vj21.044

Поступила: 01.07.25; доработана после рецензирования: 23.09.25; принята к публикации: 25.09.25.

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. Регидин А. А. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Горюнов К. Н. – наблюдение и учеты полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е. Н. Шаболкина, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории технолого-аналитического сервиса, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
Д. О. Долженко, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы, ddolzhenko75@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2004-329X;
А. А. Бишарев, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории серых хлебов, alexbisharev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5804-3298;
И. А. Калякулина, научный сотрудник лаборатории серых хлебов, irinka99rassom@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6561-550X;
Н. В. Анисимкина, старший научный сотрудник лаборатории технолого-аналитического сервиса, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, 446254, Самарская обл., п. Безенчук, ул. Карла Маркса, д. 41; Тел.: 8 (84676) 2-11-40; e-mail: samniish@mail.ru

Для эффективного использования сортов ячменя на продовольственные, кормовые и пивоваренные цели селекцию необходимо вести на селекционно-ценные признаки с учетом биохимического состава зерна. Цель исследований – оценить качество зерна сортов ярового ячменя для эффективного использования по назначению в условиях Среднего Поволжья, выявить корреляционные связи между показателями качества зерна. Исследования проводили в 2022–2024 гг. в Самарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – СамНИЦ РАН. В качестве экспериментального материала использовали 16 сортов ярового ячменя из конкурсного сортоиспытания. В условиях Среднего Поволжья за годы исследований установлены сорта ярового ячменя с высоким содержанием белка (14,0–15,4 %), которые могут быть широко востребованы в животноводстве как ценный корм или в качестве ингредиента при производстве кормов с повышенной питательной ценностью: Нутанс 553, Финист, Лунь, Безенчукский 2, Агат, Поволжский 65, Волгарь. Все участвующие в исследованиях сорта сформировали выполненное зерно (684–716 г/л) и могут использоваться для выработки крупы. Отмечено, что сорта ярового ячменя имели высокое число падения – 337–461 с, что говорит о низкой активности α -амилазы в зерне. Высокобелковые сорта ячменя с низкой амилалитической активностью являются высококачественным сырьем не только для комбикормовой и крупяной промышленности, но и для хлебопекарной. Результаты корреляционных связей между показателями качества необходимо использовать в целях селекционного улучшения биохимических и технологических свойств зерна ячменя: между белковостью и натурой зерна наблюдалась положительная связь в контрастные по погодным условиям годы – 2022 и 2024 (0,62**, 0,61**); в 2023 и 2024 гг. натура зерна была сопряжена несколько слабее с содержанием крахмала (0,53*; 0,55*). Во все годы исследований число падения тесно коррелировало с массой 1000 зерен (0,69**, 0,71**, 0,51*).

Ключевые слова: яровой ячмень, сорта, белок, крахмал, число падения, масса 1000 зерен, плечистость, натура.

Для цитирования: Шаболкина Е. Н., Долженко Д. О., Бишарев А. А., Калякулина И. А., Анисимкина Н. В. Оценка качества зерна ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 46–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-46-51.



ESTIMATION OF THE SPRING BARLEY GRAIN QUALITY IN THE MIDDLE VOLGA REGION

E. N. Shabolkina, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for technical and analytical service, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
D. O. Dolzhenko, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for common wheat breeding and genetics, ddolzhenko75@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2004-329X;
A. A. Bisharev, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory of brown bread; alexbisharev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5804-3298;
I. A. Kalyakulina, researcher of the laboratory of brown bread, irinka99rassom@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6561-550X;
N. V. Anisimkina, senior researcher of the laboratory for technical and analytical service; anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Samarsky Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov, a branch of the FSBIS Samarsky Federal Research Center RAS, 446254, Samara region, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru

For the effective use of barley varieties for food, feed and brewing purposes, breeding process must be carried out on breeding-valuable traits taking into account the biochemical composition of the grain. The purpose of the current study was to estimate the grain quality of spring barley varieties for effective targeted use in the Middle Volga region, to identify correlations between grain quality indicators. The study was conducted at the Samara RIA, SamFRC RIA in 2022–2024. Sixteen spring barley varieties from competitive variety testing were used as experimental material.

In the conditions of the Middle Volga region, over the years of study, there were identified varieties with a high protein percentage (14.0–15.4 %), which could be widely used in animal husbandry as valuable feed or as an ingredient in the production of feed with increased nutritional value, such as Nutans 553, Finist, Lun, Bezenchuksky 2, Agat, Povolzhsky 65, Volgar. All varieties participating in the study have formed a full grain (684–716 g/l) and can be used to produce cereals. There has been established that the spring barley varieties had a high 'falling number' of 337–461 s, which indicates low activity of α -amylase in the grain. High-protein barley varieties with low amylolytic activity are high-quality raw materials not only for the feed and cereal industries, but also for bakery industry. The results of the correlation between quality indicators should be used to improve biochemical and technological properties of barley grain. There was a positive correlation between protein percentage and grain nature in 2022 and 2024 with contrasting weather conditions (0.62**, 0.61**). In 2023 and 2024 grain nature was somewhat less closely correlated with starch content (0.53*, 0.55*). In all years of the study the 'falling number' closely correlated with 1000-grain weight (0.69**, 0.71**, 0.51*).

Keywords: spring barley, varieties, protein, starch, falling number, 1000-grain weight, hull content, nature weight.

Введение. Ячмень – ценная зерновая культура многоцелевого назначения, широко распространена в пищевой, комбикормовой и пивоваренной промышленности. Ячмень возделывают во всех странах мира: он хорошо вызревает и на севере, и на юге из-за короткого вегетационного периода и способности прорасти при низких температурах. В настоящее время особое внимание привлечено к здоровому питанию (функциональные продукты), а также к специализированному питанию для диабетиков с включением продуктов из ячменя с высоким уровнем бета-глюканов, низким содержанием крахмала, полноценным белком со сбалансированным аминокислотным составом (Шаболкина и др., 2025; Лукина и др., 2022; Полонский и др., 2021).

На качество зерна ярового ячменя влияют сорт, природно-климатические условия, агрохимические показатели почвы, удобрения; определяющий фактор, влияющий на биохимические показатели зерна, – запас доступной почвенной влаги и обеспеченность ею растений в критические периоды вегетации (Ерошенко и др., 2019); на содержание ценных питательных веществ (белок, жир, сахар, клетчатка) в зерне ячменя оказывают влияние генотип и условия выращивания (Сумина и Полонский, 2020); уровень белковости зависит от абиотических факторов среды на 93,0 %, крупность зерна – на 75,0 % (Юсова и Николаев, 2023); на показатель пленчатости зерна ячменя климатические условия вегетации влияют на 54 %, доля генотипа низкая (Сумина и Полонский, 2014).

Требования, предъявляемые к качеству зерна для продовольственного, кормового и пивоваренного ячменя, различны, поэтому для эффективного использования сортов ячменя по назначению необходимо вести селекцию на улучшение конкретных технологических свойств и кормовых достоинств, повышение питательности зерна и вкусовых качеств.

Для ячменя крупяного назначения (ГОСТ 28672-90) приоритетными показателями являются натура и стекловидность, содержание белка в зерне не нормируется. Кормовой ячмень является легкоусвояемой пищей для животных и отличается высоким содержанием белка, повышая биологическую ценность комбикормов (согласно ГОСТу 53900-2010 количество белка должно быть не менее 13,0 %). К яч-

меню для пивоварения предъявляют высокие требования: энергия прорастания 95 %, содержание крахмала более 65 %, пониженная пленчатость и основное требование – содержание белка в зерне не более 12,0 % (ГОСТ 5060-2021). Растворимые пищевые волокна бета-глюканы, содержащиеся в продуктах из ячменя, выполняют положительную роль в пище человека, но при кормлении нежвачных животных выступают как негативный фактор, затрудняя пищеварение и усвоение питательных веществ. Солодовым и пивоваренным компаниям бета-глюканы также доставляют неудобства, увеличивая вязкость сусла, снижая скорость и качество фильтрации пива, вызывая его потемнение (Полонский и др., 2018; Трубочеева и Першина, 2021; Choi et al., 2020). С одной стороны, функциональные продукты из ячменя с высоким содержанием пищевых волокон можно рассматривать как перспективное оздоравливающее питание, с другой – в кормовой и пивоваренной отраслях данный показатель ухудшает качественные показатели готовых изделий. Для эффективного использования ячменя по назначению (продовольственный, кормовой и пивоваренный) селекцию необходимо вести не только на урожайность, но и на селекционно-ценные признаки с учетом биохимического состава зерна.

Цель исследований – оценить качество зерна сортов ярового ячменя для эффективного использования по назначению в условиях Среднего Поволжья, выявить корреляционные связи между показателями качества зерна.

Материалы и методы исследований. На экспериментальной базе Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН изучали в течение 2022–2024 гг. биохимические свойства зерна 16 сортов ячменя конкурсного сортоиспытания: сорта Краснокутской селекционно-опытной станции НИИСХ Юго-Востока Нутанс 553 (1997 г.) и Медикум 269 (2013 г.); сорта селекции Самарского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН Безенчукский 2 (2003 г.), Беркут (2007 г.), Ястреб (2008 г.), Лунь (2009 г.), Орлан (2012 г.), Медикум 157 (2014 г.), Пересвет, Финист (2021 г.), Холзан (2023 г.); сорта Поволжского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН Волгарь (1994 г.), Поволжский 65 (1998 г.), Агат (2003 г.), Батик (2014 г.), Поволжский 22 (2015 г.). Все сорта относятся к подвиду *Hordeum vulgare* subsp. *distichon* (разновидности *nutans* и *medicum*). Стандартом

служил засухоустойчивый сорт интенсивного типа Пересвет собственной селекции.

Опыт размещали в селекционном зернопаровом севообороте по предшественнику горох на зерно. Агротехника в опыте зональная. Площадь делянки 20 м², повторность четырехкратная по схеме рендомизированных блоков. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднесуглинистый, с содержанием в слое почвы 0–30 см гумуса 3,2 % (ГОСТ 26213-91), легкогидролизуемого азота – 62–111 мг/кг почвы (ГОСТ 26951-86), подвижного фосфора и калия 285–287 и 159–238 мг/кг почвы соответственно (ГОСТ 26205-91).

Оценку качества зерна ячменя проводили в соответствии с национальными стандартами Российской Федерации: содержание азота белкового – по ГОСТ 10846-91, крахмала – по ГОСТ 10845-98, показатель «число падения» по Хагбергу–Пертену – по ГОСТ 30498-97, массу 1000 зерен – по ГОСТ 10842-89, пленчатость зерна – по ГОСТ 10843-76, натуру зерна – по ГОСТ 10840-2017. Статистическая обработка экспериментальных данных была выполнена по Б. А. Доспехову (2014).

Агрометеорологические условия в годы исследований были различными. В 2022 г. вегетационный период ярового ячменя отличался благоприятными условиями: невысокая температура (на 0,4–4,8 °C ниже нормы) и количество осадков, превышающее среднемноголетние

значения (135–176 % от нормы), способствовали формированию высокого урожая ярового ячменя. Вегетация в 2023 г. характеризовалась удовлетворительными погодными условиями: максимальное отклонение средней температуры воздуха от многолетних значений составило от 5,3 °C (3 декада мая) до –4,3 °C (3 декада июня), а количество осадков по декадам колебалось от 0,8 до 25,8 мм. Всего за вегетацию ячменя выпало 121,6 мм осадков (на 11,7 мм, или 8,8 %, ниже нормы), ГТК составил 0,7 (засуха средней силы).

Условия сезона 2024 г. характеризовались жестким гидротермическим режимом. Начальный период вегетации протекал при сильном дефиците осадков, который отчасти компенсировался пониженной температурой воздуха. Температура воздуха в июне и июле была соответственно на 2,3 и 0,9° выше среднемноголетних значений, а выпадавшие осадки носили ливневый характер. Всего за вегетацию ячменя выпало 91,5 мм осадков (на 33,4 мм, или на 33,4 %, ниже нормы), ГТК составил 0,56 (сильная засуха).

Результаты и их обсуждение. Массовая доля белка в зерне ячменя регулируется нормативными документами и является одним из важных показателей качества зерна. В среднем за 2022–2024 гг. содержание белка в зерне ярового ячменя колебалось от 12,9 до 15,4 % (сорт Пересвет, st – 13,4 %) (табл. 1).

Таблица 1. Биохимические и технологические показатели ярового ячменя (КСИ) (2022–2024 год)
Table 1. Biochemical and technological indicators of spring barley (CVT) (2022–2024)

Сорт, линия	Белок, %	Крахмал, %	Число падения, с	Масса 1000 зерен, г	Пленчатость, %	Натура зерна, г/л
Пересвет, st	13,4	55,8	388	48,6	9,6	702
Нутанс 553	14,2	54,4	441	46,3	9,6	700
Медикум 157	13,8	56,0	414	50,6	9,4	700
Медикум 269	13,5	56,6	461	50,3	9,3	704
Поволжский 22	13,4	56,3	424	48,4	10,6	705
Орлан	13,6	56,0	432	49,5	9,4	700
Холзан	13,4	56,2	424	47,4	9,5	705
Батик	12,9	56,1	337	43,8	9,8	702
Финист	14,0	56,2	425	45,9	9,7	697
Лунь	14,3	54,5	423	49,9	9,2	698
Безенчукский 2	14,1	56,0	399	48,5	9,2	695
Агат	14,4	54,5	421	48,7	9,6	684
Беркут	13,3	55,8	366	45,9	9,7	705
Ястреб	13,7	54,1	386	47,0	10,0	702
Поволжский 65	14,6	56,3	378	44,7	9,3	716
Волгарь	15,4	55,8	363	45,0	9,5	707
НСР _{0,05}	0,5	$F_{\phi} < F_T$	24	1,2	$F_{\phi} < F_T$	12

Выделилась группа сортов с высоким содержанием белка: Нутанс 553, Финист, Лунь, Безенчукский 2, Агат, Поволжский 65, Волгарь (14,0–15,4 %), максимальное содержание белка сформировал сорт Волгарь – 15,4 %. Оценка коэффициентов вариации (Cv) показала, что данный параметр в 2022, 2023 и 2024 гг. варьировал незначительно: 3,8–7,1 %.

Метеорологические условия повлияли на накопление белковых веществ в зерне ярового ячменя во время испытаний. В 2022 г. наблюдалось минимальное содержание белка в зерне – 11,4–14,0 % за годы исследований. При благоприятных погодных условиях (невысокая температура и достаточная, но не чрезмерная водообеспеченность) затра-

ты питательных веществ пошли на развитие вегетативной массы растений и формирование высокой урожайности. Неустойчивый температурный режим в период налива и созревания зерна в 2024 г. и неравномерное выпадение осадков сдерживали развитие растений, что способствовало усиленному накоплению массовой доли белковых веществ в зерне (14,3–17,2 %).

Изучение в ходе научных исследований корреляционных связей между показателями

качества очень важно, так как можно использовать полученные результаты в целях селекционного улучшения биохимических и технологических параметров зерна ячменя. Согласно данным (табл. 2), в контрастные по погодным условиям годы установлена положительная связь белковости с натурой зерна: в 2022 г. – 0,62** и в 2024 г. – 0,61** и обратная корреляционная связь с крахмалом (–0,82**).

Таблица 2. Матрица коэффициентов корреляции и коэффициентов вариации показателей качества зерна ярового ячменя в 2022, 2023 и 2024 годах
Table 2. Matrix of correlation coefficients and coefficients of variation of spring barley grain quality indicators in 2022, 2023, 2024

Год	Показатели	Белок, %	Крахмал, %	Число падения, с	Масса 1000 зерен, г	Пленчатость, %	Натура зерна, г/л	К вариации, %
2022	Белок, %	1,00	–	–	–	–	–	7,1
	Крахмал, %	-0,52*	1,00	–	–	–	–	1,3
	Число падения, с	-0,22	-0,01	1,00	–	–	–	11,2
	Масса 1000 зерен, г	-0,14	-0,02	0,69**	1,00	–	–	7,6
	Пленчатость, %	-0,35	-0,17	-0,04	-0,19	1,00	–	6,1
	Натура, г/л	0,62**	0,21	-0,40	-0,37	0,08	1,00	2,4
2023	Белок, %	1,00	–	–	–	–	–	3,8
	Крахмал, %	-0,43	1,00	–	–	–	–	2,8
	Число падения, с	-0,03	0,16	1,00	–	–	–	7,9
	Масса 1000 зерен, г	-0,08	0,17	0,71**	1,00	–	–	5,0
	Пленчатость, %	-0,29	-0,15	0,22	0,22	1,00	–	4,3
	Натура, г/л	0,01	0,53*	-0,11	-0,23	0,26	1,00	3,1
2024	Белок, %	1,00	–	–	–	–	–	5,1
	Крахмал, %	-0,82**	1,00	–	–	–	–	1,9
	Число падения, с	0,23	-0,25	1,00	–	–	–	11,8
	Масса 1000 зерен, г	-0,25	0,14	0,51*	1,00	–	–	4,8
	Пленчатость, %	-0,22	-0,00	-0,40	-0,31	1,00	–	5,8
	Натура, г/л	0,61**	0,55*	-0,24	0,04	0,26	1,00	3,7

Примечание. * – значимость на 5%-м уровне; ** – значимость на 1%-м уровне.

Крахмал – незаменимый источник энергии, он характеризовался стабильностью за годы исследований, условия произрастания мало повлияли на его содержание в зерне ячменя (54,1–56,6 %), оценка вариабельности показала малую изменчивость данного признака ($C_v = 1,3$ –2,8 %). По содержанию крахмала в зерне изучаемые сорта ячменя (табл. 1) находились на уровне сорта-стандарта Пересвет (55,8 %), существенных различий между сортами не выявлено. В 2023 и 2024 гг. крахмал был сопряжен с натурой зерна (0,53*; 0,55*).

У сортов ячменя пивоваренного назначения, кроме содержания крахмала, еще одним важным показателем является амилалитическая активность зерна, определяемая числом падения, для того чтобы избежать использования проросшего зерна (не менее 250 с). Результаты исследований показали у сортов ярового ячменя высокое число падения 337–461 с, что говорит о низкой активности α -амилазы в зерне. По данному показателю (табл. 1) относительно сорта-стандарта Пересвет (388 с) выделились сорта: Нутанс 553 (441 с), Медикум 157 (414 с), Медикум 269 (461 с), Повлжский 22 (424 с), Орлан (432 с), Холзан

(424 с), Финист (425 с), Лунь (423 с), Агат (421 с). Сорт Медикум 269 во все годы исследований имел максимальные значения числа падения в зерне. Низкая ферментативная активность зерна положительно влияет на процесс соложения и хлебопечение. Расчеты коэффициентов вариации (C_v) показали, что в годы исследований число падения отличалось стабильностью и варьировало в средних пределах 7,6–11,8 % (табл. 2). В 2022, 2023 и 2024 гг. данный показатель было тесно сопряжен с массой 1000 зерен (0,69**; 0,71**, 0,51*).

Пленчатость ярового ячменя за 2022–2024 гг. колебалась в пределах 9,2–10,6 %, данный показатель слабо варьировал в годы исследований ($C_v = 4,3$ –6,1 %), с одной стороны, этот показатель зависит от условий возделывания, с другой – результат сортовой реакции. Пленчатость зерна изучаемых сортов находилась практически на уровне сорта-стандарта Пересвет (9,6 %), с более высокими показателями отмечены два сорта ячменя (Поволжский 22, Ястреб), но различия между сортами не достоверны (табл. 1). В пивоварении зерно ячменя с пленчатостью ниже 10 % улучшает процесс соложения и качество производимого продук-

та из-за меньшего содержания дубильных веществ. Анализ корреляционных данных в годы исследований показал отсутствие достоверной зависимости между пленчатостью и другими показателями качества зерна.

Выработка и выход крупы зависят от важных показателей – масса 1000 зерен и натура зерна. За годы исследований по массе 1000 зерен выделились следующие сорта ячменя: Медикум 157 (50,6 г), Медикум 269 (50,3 г) и Лунь (49,9 г). По абсолютной массе изучаемые сорта ячменя относятся к категории крупных по весу (43,8–50,6 г) (Филиппов и др., 2013), что обеспечивает больший выход ячменной крупы, поскольку в зерне больше эндосперма. Почвенно-климатические условия выращивания влияют на массу 1000 зерен: дефицит влаги и неустойчивый температурный режим в период налива зерна в 2024 г. повлияли негативно на формирование физических свойств зерна за годы исследований, отмечена минимальная масса 1000 зерен (39,2–44,9 г). Данный показатель относится к слабоварьирующим признакам ($C_v = 4,8\text{--}7,6\%$), и, как было отмечено ранее, во все годы исследований он положительно коррелировал с показателем «число падения» (табл. 2).

Сорта ячменя с крупным высококачественным зерном наиболее пригодны для крупяного производства, в среднем за годы исследований у всех изучаемых сортов ячменя натура зерна была выше необходимого показателя (согласно ГОСТ не ниже 630 г/л). По данному параметру выделился относительно сорта-стандарта Пересвет (702 г/л) сорт Поволжский 65 (716 г/л), который во все годы исследований имел максимальные показатели (табл. 1). Ухудшение условий вегетации не отразилось на изменчивости натуры зерна, при оценке вариабельности установлено, что данный показатель относится к слабоварьирующим признакам ($C_v = 2,4\text{--}3,7\%$). Как отмечено ранее, в 2022 и 2024 гг. натура была тесно сопряжена с белком ($0,61^{**}$;

$0,62^{**}$) и в 2023–2024 гг. сопряжена положительно с крахмалом ($0,53^*$, $0,55^*$).

Выводы. Оценивая биохимические и технологические показатели зерна ярового ячменя, выращенного в условиях Среднего Поволжья, установлена группа сортов с высоким содержанием белка: Нутанс 553, Финист, Лунь, Безенчукский 2, Агат, Поволжский 65, Волгарь (14,0 – 15,4 %), максимальное содержание белка сформировал сорт Волгарь – 15,4 %. Данные сорта ячменя могут быть широко востребованы в кормопроизводстве. Отмечено, что изучаемые сорта ярового ячменя имели высокое число падения – 337–461 с, что говорит о низкой активности α -амилазы в зерне. Высокобелковые сорта ячменя с низкой амилолитической активностью улучшат не только качество круп, зернофуража, но и могут быть использованы в хлебопекарных целях. За годы исследований все изучаемые сорта ячменя сформировали высококачественное зерно (не ниже 630 г/л), пригодное для крупяного производства. На пивоваренные цели сортов ярового ячменя не выявлено по ключевому показателю – содержанию белка.

По результатам корреляционного анализа установлено: между белковостью и натурой зерна наблюдалась положительная связь в контрастные по погодным условиям годы – 2022-й и 2024-й ($0,62^{**}$, $0,61^{**}$); в 2023 и 2024 гг. натура зерна была сопряжена несколько слабее с содержанием крахмала ($0,53^*$, $0,55^*$). Во все годы исследований число падения тесно коррелировало с массой 1000 зерен ($0,69^{**}$; $0,71^{**}$, $0,51^*$). Полученные результаты корреляционных связей между показателями качества необходимо использовать в целях селекционного улучшения биохимических и технологических свойств зерна ячменя.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № FMRW -2024-0034 СамНЦ РАН.

Библиографический список

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
2. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Левакова О. В., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В. Оценка качественных показателей зерна сортов и линий ярового ячменя // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20(2). С. 126–133. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.126-133
3. Лукина К. А., Ковалева О. Н., Лоскутов И. Г. Голозерный ячмень: систематика, селекция и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 6. С. 524–536. DOI: 10.18699/VJGB-22-64
4. Полонский В. И., Сурин Н. А., Герасимов С. А., Липшин А. Г., Сумина А. В., Зюте С. А. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 1. С. 48–58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
5. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 3. С. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370
6. Сумина А. В., Полонский В. И. Роль генотипа и среды при формировании показателей плотности и пленчатости зерна ячменя, выращенного в условиях Сибири // Вестник Крас ГАУ. 2014. № 1. С. 64–69.
7. Сумина А. В., Полонский В. И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50, № 1. С. 23–31. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-3

8. Трубачеева Н. В., Першина Л. А. Проблемы и возможности изучения пивоваренных признаков ячменя с использованием молекулярно-генетических подходов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 2. С. 171–177. DOI: 10.18699/VJ21.021
9. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Новые засухоустойчивые сорта ярового ячменя // Зерновое хозяйство России. 2013. № 5. С. 43–45.
10. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Долженко Д. О., Калякулина И. А., Анисимкина Н. В. Аминнокислотный состав белков голозерного ячменя // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 13–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-13-19
11. Юсова О. А., Николаев П. Н. Селекция ярового ячменя на высокое качество зерна // Таврический вестник сельскохозяйственной науки. 2023. № 1(33). С. 148–157. DOI: 10.5281/zenodo.7898562
12. Choi H., Esser A., Murphy K. M. Genotype × environment interaction and stability of β -glucan content in barley in the Palouse region of eastern Washington // Crop Science. 2020. Vol. 60, Iss. 5. P. 2500–2510. DOI: 10.1002/csc2.20181

References

1. 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)]. M.: Al'yans, 2014. 351s.
2. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Levakova O. V., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V. Otsenka kachestvennykh pokazatelei zerna sortov i linii yarovogo yachmenya [Estimation of grain quality indicators of spring barley varieties and lines] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2019. № 20(2). S. 126–133. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.126-133
3. Lukina K. A., Kovaleva O. N., Loskutov I. G. Golozernyi yachmen': sistematika, selektsiya i perspektivy ispol'zovaniya [Hulless barley: taxonomy, breeding and prospects of use] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2022. T. 26, № 6. S. 524–536. DOI: 10.18699/VJGB-22-64
4. Polonskii V. I., Surin N. A., Gerasimov S. A., Lipshin A. G., Sumina A. V., Zyute S. A. Otsenka obraztsov yachmenya na sodержание β -glyukanov v zerne i drugie tsennye priznaki v usloviyakh Vostochnoi Sibiri [Estimation of barley samples for the content of β -glucans in grain and other valuable traits in the Eastern Siberia] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. T. 182, № 1. S. 48–58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
5. Polonskii V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Selekcziya na sodержание antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya [Breeding for antioxidants in grain as a promising direction to obtain healthy food products] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 3. S. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370
6. Sumina A. V., Polonskii V. I. Rol' genotipa i sredy pri formirovani pokazatelei plotnosti i plenchatosti zerna yachmenya, vyrashchennogo v usloviyakh Sibiri [The role of a genotype and environment in the formation of density and hulls of barley grain grown in Siberia] // Vestnik Kras GAU. 2014. № 1. S. 64–69.
7. Sumina A. V., Polonskii V. I. Soderzhanie tsennykh veshchestv v zerne yachmenya, vyrashchennogo v kontrastnykh klimaticheskikh usloviyakh [Content of valuable substances in barley grain grown in contrasting climatic conditions] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2020. T. 50, № 1. S. 23–31. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-3
8. Trubacheeva N. V., Pershina L. A. Problemy i vozmozhnosti izucheniya pivovarennykh priznakov yachmenya s ispol'zovaniem molekulyarno-geneticheskikh podkhodov [Problems and possibilities to study brewing traits of barley using molecular genetic approaches] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 2. S. 171–177. DOI: 10.18699/VJ21.021
9. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Novye zasukhoustoichivye sorta yarovogo yachmenya [New drought-resistant spring barley varieties] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2013. № 5. S. 43–45.
10. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Dolzhenko D. O., Kalyakulina I. A., Anisimkina N. V. Aminokislotnyi sostav belkov golozerного yachmenya [Amino acid composition of proteins of hulless barley] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2025. T. 17, № 2. S. 13–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-13-19
11. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Selekcziya yarovogo yachmenya na vysokoe kachestvo zerna [Spring barley breeding for high grain quality] // Tavricheskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. № 1(33). S. 148–157. DOI: 10.5281/zenodo.7898562
12. Choi H., Esser A., Murphy K. M. Genotype × environment interaction and stability of β -glucan content in barley in the Palouse region of eastern Washington // Crop Science. 2020. Vol. 60, Iss. 5. P. 2500–2510. DOI: 10.1002/csc2.20181

Поступила: 18.06.25; доработана после рецензирования: 07.07.25; принята к публикации: 18.07.25.

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. Шаболкина Е. Н. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Долженко Д. О. – анализ данных и их интерпретация; Бишарев А. А. – сбор данных; Калякулина И. А. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Анисимкина Н. В. – выполнение химико-технологических анализов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВЫЕ АМИЛОПЕКТИНОВЫЕ САМООПЫЛЕННЫЕ ЛИНИИ ПОДВИДА ВОСКОВИДНОЙ КУКУРУЗЫ

Г. Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
А. С. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-460
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Ценность амилопектинового крахмала как сырья для технической, пищевой промышленности и в медицине обуславливает необходимость селекции подвида восковидной кукурузы (*Zea mays L. ceratina*), имеющего в зерне именно такой крахмал. Исследования выполнены в 2022–2024 гг. в ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве объекта исследований использованы 14 новых самоопыленных линий восковидной кукурузы, созданных стандартным (початкорядным) методом. Цель исследований – выделить самоопыленные линии восковидного подвида, имеющие высокую долю амилопектина в крахмале и высокие значения важнейших хозяйственно ценных признаков, выявить влияние способа опыления на содержание крахмала. Установлено, что способ опыления (принудительный и свободный) не оказывал значительного влияния на содержание общего крахмала в зерне линий. Из 10 изученных линий только две изменили класс по содержанию крахмала в зависимости от способа опыления. Выделены линии 24/29, 25/69, 26/99, 25/95, 26/31, 25/64 (10), 27/23, 24/28, 24/28 А, имеющие высокую долю амилопектина в крахмале (99,83–99,89 %). Среди них высоким содержанием общего крахмала в зерне (68,7–69,0 %) характеризовались линии 24/29, 25/95, 26/31, 24/28, 24/28 А. Среди амилопектиновых линий наибольшей урожайностью зерна отличалась линия 26/99 (0,76 т/га), средняя урожайность (0,31–0,43 т/га) отмечена у линий 25/69, 26/31, 24/28. Выделены новые амилопектиновые линии, устойчивые к полеганию (24/29, 26/99, 24/28), устойчивые к поражению пузырчатой головней на естественном фоне (24/29, 25/64 (10), 27/23). Новые линии, за исключением 24/29 и 27/23, технологичны при уборке (высота прикрепления початка 50,0–60,0 см). Формирование более высокого урожая у восковидных линий обеспечивалось высокими значениями признаков продуктивности. Выявлены высокие положительные коэффициенты корреляции между урожайностью зерна и массой одного початка ($r = 0,80 \pm 0,17$), массой 1000 семян ($r = 0,91 \pm 0,12$) и количеством зерен на початке ($r = 0,74 \pm 0,19$).

Ключевые слова: кукуруза восковидная (*Zea mays L. ceratina*), самоопыленные линии, содержание крахмала, амилопектин, амилоза.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Новые амилопектиновые самоопыленные линии подвида восковидной кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 52–57. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-52-57.



NEW AMYLOPECTIN SELF-POLLINATED LINES OF WAXY MAIZE SUBSPECIES

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-460
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The value of amylopectin starch as a raw material for the technical, food, and medical industries makes crucial to develop a waxy maize subspecies (*Zea mays L. ceratina*) that contains this type of starch. The current study was conducted at the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2022–2024. There have been studied 14 new self-pollinated lines of waxy maize, developed using the standard (cob-type) method. The purpose of the study was to identify self-pollinated lines of waxy subspecies with a high proportion of amylopectin in their starch and high values of main economically valuable traits, and to determine the effect of pollination method on starch content. There have been determined that the pollination method (artificial and open) had insignificant effect on the total starch content in grain. Only two line out of 10 studied changed their starch content class depending on the pollination method. There have been identified such lines as 24/29, 25/69, 26/99, 25/95, 26/31, 25/64 (10), 27/23, 24/28, 24/28A, having a high proportion of amylopectin in starch (99.83–99.89 %). Among them, the lines 24/29, 25/95, 26/31, 24/28, 24/28 A were characterized by a high content of total starch in grain (68.7 – 69.0%). Among amylopectin lines, the line 26/99 had the highest grain productivity (0.76 t/ha), average productivity (0.31–0.43 t/ha) was found in the lines 25/69, 26/31, 24/28. There have been identified the new amylopectin lines resistant to lodging (24/29, 26/99, 24/28) and resistant to blister smut under natural conditions (24/29, 25/64 (10), 27/23). The new lines, excepting 24/29 and 27/23, were easy to harvest (50.0–60.0 cm of ear attachment). Higher yields of waxy lines were achieved through large productivity trait values. There have been found high positive correlation coefficients between grain productivity and cob weight ($r = 0.80 \pm 0.17$), 1000-grain weight ($r = 0.91 \pm 0.12$), and number of grains per cob ($r = 0.74 \pm 0.19$).

Keywords: waxy maize (*Zea mays L. ceratina*), self-pollinated lines, starch content, amylopectin, amylose.

Введение. Создание высококрахмалистых гибридов – важнейшее направление селекции кукурузы. Особую ценность представляет амилопектиновый крахмал как незаменимое сырье для технической, пищевой промышленности, фармацевтики. Только один подвида – кукуруза восковидная (*Zea mays L. ceratina*) содержит полностью амилопектиновый крахмал. Однако из-за отсутствия в Государственном реестре отечественных восковидных гибридов отмечается полная импортозависимость от зарубежного сырья (Гонилов и др., 2020). К сожалению, зарубежные исследователи опережают отечественных в исследованиях, касающихся селекции подвида восковидной кукурузы. Они разработали методики отбора исходного материала для селекции высокопродуктивных восковидных гибридов (Dermail et al., 2022).

Более низкая урожайность зерна гибридов подвида восковидной кукурузы в сравнении с наиболее широко распространенными в производстве подвидами (зубовидной и кремнистой) обуславливает необходимость изучения отечественными исследователями возможности повышения ее продуктивности (Кривошеев и др., 2023). Недостаточное количество и слабое разнообразие исходного материала восковидной кукурузы сдерживает работы в этом направлении в нашей стране (Бойко и Хатефов, 2021).

Поиски хозяйственно ценных источников и доноров в качестве исходного материала для создания высококрахмалистых гибридов кукурузы – важнейший этап работы в этом направлении. Особое внимание необходимо уделять выявлению источников высокого содержания крахмала в зерне (Гольдштейн и др., 2023).

Конечно, в этом плане, наибольший интерес представляет линейный материал – создание и выявление линий восковидной кукурузы, перспективных для создания высококрахмалистых гибридов (Бижоев и др., 2022). Эффективно использование мутации WAXY (WX) для получения нового линейного материала (Радочинская и др., 2021).

Значительное различие образцов по содержанию крахмала обуславливает необходимость изучения линейного и гибридного материала по этому показателю, выделению и вовлечению в дальнейшую работу образцов, характеризующихся высоким содержанием крахмала (Фирсова и др., 2024).

Цель исследований – выделить самоопыленные линии восковидного подвида, имеющие высокую долю амилопектина в крахмале и высокие значения важнейших хозяйственно ценных признаков, выявить влияние способа опыления на содержание крахмала.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в 2022–2024 гг. в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (АНЦ «Донской»). В качестве объекта исследований взяты 14 новых константных самоопыленных линий подвида восковидной кукурузы

(*Zea mays L. ceratina*), которые были созданы в АНЦ «Донской» стандартным (початкорядным) методом согласно Методическим рекомендациям по селекции кукурузы (1980). В основном опыте изучены самоопыленные линии 24/29, 25/69, 26/99, 25/95, 26/31, 25/64 (10), 27/23, 24/28, 27/26, 24/28 А; в дополнительном (специальном) опыте в 2024 году изучались линии 25/95, 26/31, 27/26, 24/28, 24/28 А, 25/73, 24/18, 25/69, 24/86, 25/64(1). Из-за отсутствия стандарта для восковидных линий новые самоопыленные линии оценены по хозяйственно ценным признакам по отношению друг к другу.

Закладка полевых опытов выполнена на основе Методических указаний по применению полевых опытов с кукурузой (1980). Площадь делянок 10 м², повторность двукратная, размещение делянок систематическое. Биохимическая оценка спелого зерна линий восковидной кукурузы проведена в лаборатории биохимической и технологической оценки селекционного материала АНЦ «Донской». Содержание общего крахмала определено поляриметрическим методом по Эверсу (ГОСТ 10845-98). Доля амилопектина и амилозы определена во Всероссийском научно-исследовательском институте крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиале научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха». Исследования проводили с учетом требований Международной организации по стандартизации: определение массовой доли влаги (ГОСТ 13586), определение амилозы в крахмале (ГОСТ ISO 6647-1-2015) – с использованием спектрофотометра УФ-3200.

Оценка поражения пузырчатой головней кукурузы сделана по методике Хорьковой (2020).

Для математической обработки экспериментальных данных использована Методика полевого опыта Б.Н. Доспехова (2014). Градации изучаемых признаков проведены на основе классификатора вида *Zea mays L.* (1979).

Полевые исследования проведены в зоне неустойчивого увлажнения, где лимитирующим фактором для кукурузы является влага. Годы проведения исследований различались по метеоусловиям, в том числе по количеству осадков. В 2022 г. количество осадков за период вегетации растений кукурузы (май – август) составило 132 мм при среднемноголетнем значении 225,5 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) равнялся 0,49 (среднемноголетнее значение – 0,89). В 2023 г. за вегетационный период выпало 218,2 мм атмосферных осадков (96,8 % к норме), ГТК составил 0,83. Крайне засушливым оказался 2024 г. – 63,8 мм осадков (28,3 % к норме), ГТК 0,22.

Результаты и их обсуждение. В специальном опыте проведено сравнительное изучение общего содержания крахмала в зерне десяти восковидных линий от свободного опыления и принудительного под изоляторами (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительное изучение содержания крахмала в зерне восковидных линий кукурузы от принудительного и свободного опыления, 2024 год
Table 1. Comparative study of starch content in grain of waxy maize lines after artificial and open pollination, 2024

Линия	Содержание крахмала в зерне, % (свободное опыление)	Классификация по содержанию крахмала	Содержание крахмала в зерне, % (принудительное опыление)	Классификация по содержанию крахмала	Разница в содержании крахмала между принудительным и свободным опылением, %
25/95	68,9	высокое	68,9	высокое	0
26/31	69,1	высокое	71,2	высокое	2,1
27/26	72,9	высокое	71,4	высокое	-1,5
24/28	69,0	высокое	70,8	высокое	1,8
24/28 А	69,0	высокое	71,7	высокое	2,7
25/73	69,0	высокое	67,7	среднее	-1,3
24/18	65,6	среднее	68,0	среднее	2,4
25/69	67,6	среднее	68,3	среднее	0,7
24/86	68,1	среднее	67,4	среднее	-0,7
25/64(1)	67,2	среднее	68,6	высокое	1,4

Полученные результаты позволяют утверждать, что различия в способе опыления не оказывали значительного влияния на содержание общего крахмала, включающего амилопектин и амилозу. Содержание крахмала при свободном опылении варьировало по линиям от 65,6 до 72,9 %, при принудительном опылении – от 67,4 до 71,7 %. Из десяти изученных линий только две изменили класс по содержанию крахмала в зависимости от способа опыления. Полученные результаты позволяют заключить, что для определения содержания общего крахмала образцы восковидной кукурузы нет необходимости размещать на изолированных участках.

Определено содержание амилопектина и амилозы в крахмале 10 самоопыленных линий восковидного подвида кукурузы, созданных в АНЦ «Донской». Следует отметить, что большая часть селекционных питомников состоит из образцов наиболее распространенных в производстве подвидов кукурузы: зубовидной (*Zea mays L. indentata*) и кремнистой (*Zea mays L. indurata*). Учитывая, что при свободном опылении может произойти переопыление образцов восковидной кукурузы пылью зубовидной или кремнистой, что повлияет на долю содержания амилопектина и амилозы, для анализа было использовано только зерно, полученное от принудительного опыления (табл. 2).

Таблица 2. Показатели амилопектина и амилозы у самоопыленных линий восковидной кукурузы, 2024 год
Table 2. Amylopectin and amylose values in self-pollinated waxy maize lines, 2024

Линия	Сухое вещество в крахмале, %	Массовая доля амилопектина, % в сухом веществе крахмала	Массовая доля амилозы, % в сухом веществе крахмала
24/29	89,8	99,84	0,16
25/69	89,8	99,86	0,14
26/99	90,0	99,88	0,12
25/95	91,7	99,89	0,11
26/31	92,4	99,86	0,14
25/64 (10)	92,0	99,87	0,13
27/23	91,6	99,83	0,17
24/28	90,4	99,83	0,19
27/26	91,4	80,50	19,50
24/28А	90,8	99,84	0,16

Изучаемые линии незначительно различались по содержанию сухого вещества в крахмале (89,8–92,4 %). Девять из них 24/29, 25/69, 26/99, 25/95, 26/31, 25/64 (10), 27/23, 24/28, 24/28А имели высокую долю амилопектина в крахмале (99,83–99,89 %). Только одна линия – 27/26 – отличалась не высокой долей

амилопектина (80,50 %), причем именно эта линия имела самое высокое содержание общего крахмала в зерне (70,0 %).

Среди амилопектиновых линий высоким содержанием крахмала в зерне (68,7–69,0 %) характеризовались линии 24/29 25/95, 26/31, 24/28, 24/28 А (см. рисунок).

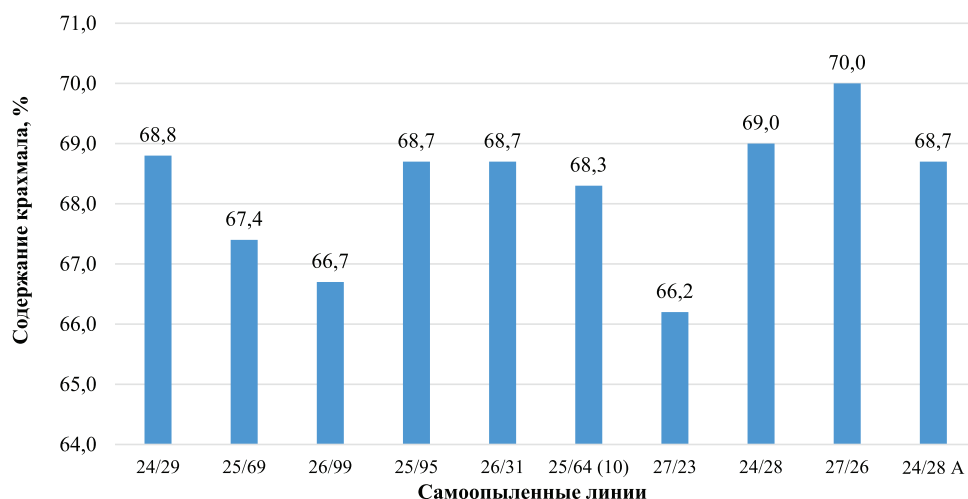


Рис. Содержание крахмала в зерне самоопыленных линий восковидной кукурузы (2022–2024 гг.)

Fig. Starch content in grain of self-pollinated waxy maize lines (2022–2024)

Остальные линии (25/69, 26/99, 25/64 и 27/23) имели среднее содержание крахмала в зерне – 66,2–68,3 %.

В связи с отсутствием стандарта для восковидных линий новые самоопыленные линии оценены по хозяйственно ценным признакам по отношению друг к другу. Максимальный урожай зерна (0,84 т/га) сформировала ли-

ния 27/26, имевшая наименьшую долю амилопектина в крахмале (80,5 %). Выявлена урожайная (0,78 т/га) амилопектиновая линия 26/99. Средней урожайностью (0,31–0,43 т/га) характеризовались амилопектиновые линии 25/69, 26/31, 24/28, низкой урожайностью (0,07–0,15 т/га) – 24/29, 25/95, 27/23, 25/64 (10) (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность зерна и элементы ее структуры у восковидных линий кукурузы (2022–2024 гг.)

Table 3. Grain productivity and yield structural elements of waxy maize lines (2022–2024)

Линия	Урожайность зерна, т/га	Количество початков на 1 растении, шт.	Масса 1 початка, г	Масса 1000 семян, г	Количество, шт.			Выход зерна, %
					рядов зерен	зерен в ряду	зерен на початке	
24/29	0,15	0,9	79,2	208	14	28	392	76,3
25/69	0,43	0,8	77,1	212	13	25	325	79,6
26/99	0,78	0,6	101,5	306	16	24	384	75,8
25/95	0,13	1,2	16,3	188	16	18	288	38,6
26/31	0,39	1,0	45,7	206	16	17	272	61,3
25/64 (10)	0,07	0,2	13,1	168	14	16	224	31,0
27/23	0,15	0,48	25,0	168	14	22	308	43,8
24/28	0,31	0,33	33,1	176	15	23	345	71,6
27/26	0,84	1,0	91,7	282	16	34	544	77,3
24/28 A	0,31	0,33	33,1	176	15	23	345	71,6
S	0,08	0,15	6,8	34,5	1,7	5,7	65,0	10,9

Высокая урожайность зерна линии 26/99 обусловлена в первую очередь более крупным початком (101,5 г) и крупным зерном (масса 1000 зерен – 306 г), большим количеством зерен на початке (384 шт.). В противоположность ей, самая низко продуктивная линия 25/64 (10) имела наименьшее значение перечисленных элементов продуктивности: масса 1 початка – 13,1 г, масса 1000 зерен – 168 г, количество зерен на початке – 224 шт. Снижение урожайности зерна у нее произошло также из-за низких значений признаков продуктивности – «количество початков на растении» (0,2 шт.) и «выход зерна при обмолоте» (31,0 %). Более высокая урожайность зерна восковидных линий

кукурузы формировалась благодаря сочетанию у них более высоких значений признаков продуктивности. Так, выявлены положительные высокие коэффициенты корреляции между урожайностью зерна и массой 1 початка ($r = 0,80 \pm 0,17$), массой 1000 семян ($r = 0,91 \pm 0,12$) и количеством зерен на початке ($r = 0,74 \pm 0,19$). Положительные средние коэффициенты корреляции установлены между урожайностью и признаками: количество рядов зерен на початке ($r = 0,48 \pm 0,22$), зерен в ряду початка ($r = 0,62 \pm 0,23$), выход зерна при обмолоте ($r = 0,66 \pm 0,22$).

Все новые самоопыленные линии восковидной кукурузы, имеющие высокое содержа-

ние амилопектина в зерне, характеризовались низкой уборочной влажностью зерна (12,4–14,8 %) (табл. 4).

Высокой устойчивостью к полеганию (отсутствие полегших растений) отличались линии 24/29, 26/99, 24/28, 24/28 А. Среднее стеблевое полегание (15,6–17,1 %) отмечено у линий 24/69, 25/64 (10). Остальные линии имели слабое полегание растений (8,0–9,1 %). Не поражались на естественном фоне пузыр-

чатой головней линии 24/29, 25/64 (10) и 27/23, средней степенью поражения (12,5–13,6 %) характеризовались линии 25/69, 26/99, 26/31. Все линии относились к среднерослым (137,0–167,5 см). Новые линии технологичны при уборке (высота прикрепления початка 50,0–60,0 см), исключение составили линии 24/29 и 27/23 с высотой прикрепления початка 38,5 и 44,5 см соответственно.

Таблица 4. Хозяйственно ценные признаки самоопыленных линий восковидной кукурузы (2022–2024 гг.)
Table 4. Economically valuable traits of self-pollinated waxy maize lines (2022–2024)

Линия	Уборочная влажность зерна, %	Полегание растений, %	Поражение пузырчатой головней, %	Высота, см	
				растений	прикрепления початков
24/29	12,4	0	0	137,5	38,5
25/69	14,8	15,6	12,5	145,5	57,5
26/99	12,9	0	12,5	144,5	50,0
25/95	14,1	8,8	5,9	142,0	50,0
26/31	14,4	9,1	13,6	137,0	50,5
25/64 (10)	13,5	17,1	0	167,5	60,0
27/23	13	8,0	0	139,0	44,5
24/28	14,6	0	5,1	166,5	53,5
24/28 А	14,6	0	5,1	166,5	53,5
S	0,6	2,2	2,5	22,6	11,8

Выводы. Выявлено, что содержание общего крахмала в зерне восковидных линий не зависит от способа опыления (свободное или принудительное).

Изученные восковидные линии характеризовались высокой долей амилопектинового крахмала в общем крахмале (99,83–99,89 %). Только одна линия из десяти (27/26) имела невысокое содержание амилопектина (80,5 %).

Высокое содержание общего крахмала (68,7–69,0 %) отмечено у амилопектиновых линий 24/29, 25/95, 26/31, 24/28, 24/28 А.

Выделены новые линии восковидной кукурузы: высокопродуктивные (26/99, 25/69,

26/31, 24/28), устойчивые к полеганию (24/29, 26/99, 24/28), устойчивые к поражению пузырчатой головней на естественном фоне (24/29, 25/64 (10), 27/23).

Более высокая урожайность зерна у новых восковидных линий формировалась благодаря сочетанию высоких значений признаков продуктивности. Коэффициенты корреляции между урожайностью зерна и величиной признаков продуктивности составили 0,48–0,91.

Финансирование. Исследования выполнены согласно Государственному заданию. Тема НИР № 0505-2024-0002.

Библиографический список

1. Бижоев М. В., Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Бижоев Р. В. Изучение линии восковидной кукурузы коллекции ВИР по количественным и хозяйственно полезным признакам в Кабардино-Балкарии // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 99. С. 71–78. DOI: 10.21515/1999-1703-99-71-78
2. Бойко В. Н., Хатефов Э. Б. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 4. С. 27–35. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35
3. Гольдштейн В. Г., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Базгиев М. А., Бадургова К. Ш., Бузуртанов А. И., Хорева В. И., Бойко В. Н., Грушин А. А., Ибрафилова С.Ф., Филь И. В., Хатефов Э. Б. Потенциал продуктивности некоторых гибридов кукурузы коллекции ВИР для выделения крахмала при глубокой переработке зерна // Экологическая генетика. 2023. № 21(1). С. 19–31. DOI: 10.17816/ecogen111879
4. Гоникова М. Р., Хорева В. И., Гольдштейн В. Г., Носовская Л. П., Адикаева Л. В., Хатефов Э. Б. Изучение хозяйственно ценных признаков и технологических свойств коллекции ZEA MAYS L. ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Т. 181, № 4. 2020. С. 56–64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-56-64
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. Стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Кривошеев Г. Я., Игнатъев А. С., Лупиного Д. Р., Арженовская Ю. Б., Шевченко Н. А. Взаимосвязь количественных признаков и урожайности зерна у гибридов восковидной кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 29–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-29-35

7. Радочинская Л. В., Люлюк И. Р., Земцев А. А. Селекционный подход в использование мутации *waxy* (WX) при создании линий и гибридов с восковидным типом эндосперма // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 46. С. 756–761.
8. Фирсова М. Р., Шомахов Б. Р., Кушхова Р. С., Хаширова З. Т., Кудяев Р. А., Гяургиев А. Х., Аппаев С. П., Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Бузуртанов А. И., Бадургова К. Ш., Базгиев М. А., Гольдштейн В. Г., Хорева В. И., Хатефов Э. Б. Оценка содержания крахмала в зерне и реакции на «М» и «С» типы ЦМС высококрахмалистых гибридов кукурузы // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024. № 185(3). С. 166–179. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-166-179
9. Demail A., Fuengtee A., Lertrat K., Bayuardi Suwarno W., Lübberstedt T. Simultaneous Selection of Sweet-Waxy Corn Ideotypes Appealing to Hybrid Seed Producers, Growers, and Consumers in Thailand // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(1), Article number: 87. DOI: 10.3390/agronomy12010087

References

1. Bizhoyev M. V., Kagermazov A. M., Khachidogov A. V., Bizhoyev R. V. Izuchenie linii voskovidnoi kukuruzy koleksii VIR Po kolichestvennym i khozyaistvenno poleznym priznakam v Kabardino-Balkarii [Study of the waxy maize line from the VIR collection according for quantitative and economically valuable traits in Kabardino-Balkaria] // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. № 99. S. 71–78. DOI: 10.21515/1999-1703-99-71-78
2. Boiko V. N., Khatefov E. B. Iskhodnyi material dlya gibridnoi seleksii kukuruzy na mnogopochatkovost' iz koleksii VIR [Initial material for hybrid breeding of maize for multi-cob production from the VIR collection] // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2021. T. 182, № 4. S. 27–35. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35
3. Gol'dshtein V. G., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Bazgiev M. A., Badurgova K. Sh., Buzurtanov A. I., Khoreva V. I., Boiko V. N., Grushin A. A., Israfilova S. F., Fil' I. V., Khatefov E. B. Potentsial produktivnosti nekotorykh gibridov kukuruzy koleksii VIR dlya vydeleniya krakhmala pri glubokoi pererabotke zerna [Productivity potential of some maize hybrids from the VIR collection for starch extraction during deep grain processing] // *Ekologicheskaya genetika*. 2023. № 21(1). S. 19–31. DOI: 10.17816/ecogen111879
4. Gonikova M. R., Khoreva V. I., Gol'dshtein V. G., Nosovskaya L. P., Adikaeva L. V., Khatefov E. B. Izuchenie khozyaistvenno tsennykh priznakov i tekhnologicheskikh svoystv koleksii ZEA MAYS L. VIR [Study of economically valuable traits and technological properties of the ZEA MAYS L. VIR collection] // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. T. 181, № 4. 2020. S. 56–64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-56-64
5. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. Stereotip izd. M.: Al'yans, 2014. 351 s
6. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S., Lupinoga D. R., Arzhenovskaya Yu. B., Shevchenko N. A. Vzaimosvyaz' kolichestvennykh priznakov i urozhainosti zerna u gibridov voskovidnoi kukuruzy [Correlation between quantitative traits and grain productivity in waxy maize hybrids] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. T. 15, № 3. S. 29–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3- 29-35
7. Radochinskaya L. V., Lyulyuk I. R., Zemtsev A. A. Seleksionnyi podkhod v ispol'zovanie mutatsii *waxy* (WX) pri sozdaniy linii i gibridov s voskovidnym tipom endosperma [Breeding approach using the waxy (WX) mutation in the development of lines and hybrids with waxy endosperm] // *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2021. № 46. S. 756–761.
8. Firsova M. R., Shomakhov B. R., Kushkhova R. S., Khashirova Z. T., Kudaev R. A., Gyaurgiev A. Kh., Appaev S. P., Kagermazov A. M., Khachidogov A. V., Buzurtanov A. I., Badurgova K. Sh., Bazgiev M. A., Gol'dshtein V. G., Khoreva V. I., Khatefov E. B. Otsenka soderzhaniya krakhmala v zerne i reaktsii na «M» i «S» tipy TsMS vysokokрахmalistykh gibridov kukuruzy [Assessment of grain starch content and responses to CMS-S and CMS-C in high-starch maize hybrids] // *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*. 2024. № 185(3). S. 166–179. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-166-179
9. Demail A., Fuengtee A., Lertrat K., Bayuardi Suwarno W., Lübberstedt T. Simultaneous Selection of Sweet-Waxy Corn Ideotypes Appealing to Hybrid Seed Producers, Growers, and Consumers in Thailand // *Agronomy*. 2022. Vol. 12(1), Article number: 87. DOI: 10.3390/agronomy12010087

Поступила: 10.07.25; доработана после рецензирования: 29.08.25; принята к публикации: 29.08.25.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ПИТОМНИКА КАСИБ-22 В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. Л. Шпигель¹, младший научный сотрудник лаборатории яровой твердой пшеницы, al.shpigel2032@omgau.org, ORCID ID: 0000-0002-9254-7091;
В. С. Юсов¹, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией яровой твердой пшеницы, vad.yusov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4159-3872;
И. В. Потоцкая², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, iv.pototskaya@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-3574-2875
¹ФГБНУ Омский аграрный научный центр (ФГБНУ ВО «Омский АНЦ»), 644012, Омская область, г. Омск, пр. Королева, д. 26;
²ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ), 644008, Омская обл., г. Омск, Институтская пл., 1

Твердая пшеница является важнейшей зерновой культурой для производства макаронных изделий в Западно-Сибирском регионе. Требуются сорта пшеницы, высокоадаптивные к стрессовым факторам среды, хорошо приспособленные к технологии возделывания, с высоким качеством зерна для расширения посевных площадей этой культуры в Омской области. Цель исследований – оценка урожайности и технологических признаков качества зерна сортообразцов яровой твердой пшеницы питомника КАСИБ-22, отбор перспективных генотипов с комплексом хозяйственно ценных признаков для селекционных программ. Исследования проведены на опытном поле ФГБНУ «Омский АНЦ» в 2022–2024 гг. по изучению 20 сортов и линий твердой пшеницы питомника КАСИБ-22 из пяти селекционных учреждений России и Казахстана. Проанализированы урожайность и основные технологические признаки качества зерна – белок, клейковина, натурная масса, стекловидность, индекс глютена, показатель седиментации и цвет макарон по общепринятым методикам. Выделены генотипы, превышающие по урожайности (28,3–30,8 ц/га) стандарт Жемчужина Сибири: линия 242/243-2020 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 2246 (Карабалыкская СХОС), АТП Прима (ФАНЦА), G.11-77-3 (Омский АНЦ), линия 2217д-4, линия 1927д-27, линия 2285д-3 (Самарский НИИСХ). Доля сортообразцов питомника с высоким содержанием белка и клейковины ($\geq 17,0$ и ≥ 34 %) составила 75 %, тогда как доля сортообразцов с высокими показателями седиментации (≥ 40 мл) и индекса глютена (≥ 75 ед.) достаточно низкая – 30 и 25 % соответственно. Сформирован пул лучших генотипов с высоким уровнем урожайности (27,9–30,8 ц/га) и улучшенными характеристиками качества зерна (белок – $\geq 15,9$ %, клейковина – $\geq 32,7$ %, натура зерна – 749–795 г/л, индекс глютена – 46,8–87,1 ед., седиментация – 38,4–46,0 мл), рекомендуемый для селекционных программ как исходный материал: линия 242/243-2020 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 2246 (Карабалыкская СХОС), АТП Прима (ФАНЦА), линия 2217д-4, линия 1927д-27, линия 2285д-3, линия 1693д-71 (Самарский НИИСХ).

Ключевые слова: яровая твердая пшеница, программа КАСИБ, урожайность, качество зерна.

Для цитирования: Шпигель А. Л., Юсов В. С., Потоцкая И. В. Урожайность и качество зерна образцов яровой твердой пшеницы питомника КАСИБ-22 в условиях Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 58–64. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-58-64.



PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF SPRING DURUM WHEAT SAMPLES OF THE NURSERY KASIB-22 IN WESTERN SIBERIA

A. L. Shpigel¹, junior researcher of the laboratory for spring durum wheat breeding, al.shpigel2032@omgau.org, ORCID ID: 0000-0002-9254-7091;
V. S. Yusov, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for spring durum wheat breeding, vad.yusov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4159-3872;
I. V. Pototskaya², Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, iv.pototskaya@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-3574-2875
¹FSBSI Omsk Agricultural Research Center, (FSBSI "Omsk ARC"), 644012, Omsk region, Omsk, Korolev Av, 26;
²FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin" (FSBEI HE Omsk SAU), 644008, Omsk region, Omsk, Institutskaya Sq. 1

Durum wheat is the most important grain crop to produce pasta in the West Siberian region. There is a great necessity in wheat varieties with high adaptability to environmental stress factors, good suitability to cultivation technologies, high grain quality in order to expand the areas under this crop in the Omsk region. The purpose of the current study was to estimate productivity and technological traits of grain quality of spring durum wheat varieties of the nursery KASIB-22, and to select promising genotypes with a set of economically valuable characteristics for breeding programs. The study was conducted on the experimental field of the FSBSI "Omsk ARC" in 2022–2024 to study 20 durum wheat varieties and lines of the nursery KASIB-22 from five breeding institutions in Russia and Kazakhstan. There have been analyzed productivity and main technological characteristics of grain quality, such as protein, gluten, nature weight, hardness, gluten index, sedimentation index and pasta color, using generally

accepted methods. There have been identified genotypes exceeding productivity of the standard variety 'Zhemchuzhina Siubiri' (28.3–30.8 hwt/ha), they are 'Line 242/243-2020' (Aktyubinsk AES), 'Gordeiforme 2246' (Karabalyk AES), 'ATP Prima' (FASCA), 'G.11–77-3' (Omsk ARC), 'Line 2217d-4', 'Line 1927d-27', 'Line 2285d-3' (Samara RIA). The share of the nursery's varieties with high protein and gluten percentage (≥ 17.0 and ≥ 34 %) was 75 %, while the share of varieties with high sedimentation rates (≥ 40 ml) and gluten index (≥ 75 units) was quite low with 30% and 25%, respectively. There has been formed a pool of the best genotypes with a high productivity level (27.9–30.8 hwt/ha) and improved grain quality characteristics (protein ≥ 15.9 %, gluten ≥ 32.7 %, 749–795 g/l of grain nature, 46.8–87.1 units of gluten index, 38.4–46.0 ml of sedimentation), recommended for breeding programs as initial material, namely 'Line 242/243-2020' (Aktyubinsk AES), 'Gordeiforme 2246' (Karabalyk AES), 'ATP Prima' (FASCA), 'Line 2217d-4', 'Line 1927d-27', 'Line 2285d-3', 'Line 1693d-71' (Samara RIA).

Keywords: spring durum wheat, KASIB program, productivity, grain quality.

Введение. Западная Сибирь и Казахстан являются основными регионами, производящими высококачественное зерно твердой пшеницы, часть которого идет на экспорт в страны Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии. Однако площади посевов, занятых сортами твердой пшеницы в Омской области, не превышают 50 тыс. га. Производству требуются сорта пшеницы, высокоадаптивные к стрессовым факторам среды, хорошо приспособленные к технологии возделывания, с высоким качеством зерна и макарон (Фризен и др., 2024).

Международная программа Казахстанско-Сибирской сети улучшения яровой твердой пшеницы, основанная в 2000 г., в настоящее время объединяет девять селекционных учреждений. В рамках данной программы каждое учреждение-участник представляет 2–3 новых сорта или линии для масштабного экологического сортоиспытания. Единая методика полевой оценки сортов сети КАСИБ в разных экологических пунктах и региональный стандарт Безенчукская 139 позволяют получать данные о перспективных сортах и линиях (Tajibayev et al., 2021; Tajibayev et al., 2023). Принцип челночной селекции по переброске селекционного материала в контрастные условия среды, используемый при реализации программы КАСИБ, увеличивает возможности

идентификации сортов со стабильной урожайностью и повышает эффективность селекционных программ (Шаманин и др., 2021). В селекции пшеницы существует крайне мало примеров подобных мультилокационных испытаний, охватывающих огромную территорию в разных эколого-географических зонах – от южного Казахстана до Поволжья России. Твердая пшеница является основным сырьем для производства макаронных изделий, кускуса и других продуктов с высокой питательной ценностью. В этой связи оценка качества зерна является важным аспектом международной программы, используя при этом научный и материально-технический потенциал всех селекционных учреждений – участников сети КАСИБ (Evdokimov et al., 2022).

Цель исследований – оценка урожайности и технологических признаков качества зерна сортообразцов яровой твердой пшеницы питомника КАСИБ-22, отбор перспективных генотипов с комплексом хозяйственно ценных признаков для селекционных программ.

Материалы и методы исследования. В 2022–2024 гг. на опытном поле ФГБНУ «Омский АНЦ» изучено 20 сортов и линий яровой твердой пшеницы из пяти селекционных учреждений Казахстана и России (табл. 1).

Таблица 1. Сорта и линии яровой твердой пшеницы питомника КАСИБ-22 из пяти учреждений России и Казахстана (2022–2024 гг.)

Table 1. Spring durum wheat varieties and lines of the nursery KASIB-22 from five breeding institutions in Russia and Kazakhstan

№ п/п	Сорт, линия	Оригинатор	№ п/п	Сорт, линия	Оригинатор
1	Янтарная 150	Актыбинская СХОС	11	Леукурум 1005	«—»
2	Линия 242/243-2020	«—»	12	Гордеиформе 1019	«—»
3	Линия 248/255-2020	«—»	13	G.13–62-2	Омский АНЦ
4	Гордеиформе 2441	Карабалыкская СХОС	14	Омский лазурит	«—»
5	Гордеиформе 2246	«—»	15	G.11–77-3	«—»
6	Омская янтарная	Омский АНЦ	16	Линия 2217д-4	Самарский НИИСХ
7	Омский корунд	«—»	17	Линия 1927д-27	«—»
8	Омский изумруд	«—»	18	Линия 2285д-3	«—»
9	Безенчукская 139	Региональный стандарт	19	Линия 1693д-71	«—»
10	АТП Прима	ФГБНУ ФАНЦА	20	Жемчужина Сибири	Стандарт Госкомиссии

Полевые эксперименты закладывали по методике Госсортоиспытания (2019) рандомизи-

рованными блоками в 3-кратной повторности, площадь деянок 3 м². В лаборатории качества

зерна ФГБНУ «Омский АНЦ» определяли технологические признаки качества зерна: содержание белка и клейковины – при помощи инфракрасного анализатора «ИнфраЛюм» ФТ-12; стекловидность и натурную массу зерна – по ГОСТ 10987-76 и ГОСТ 10840-2017 соответственно; индекс глютена – на приборе Glutomatic 2100 механическим способом (ГОСТ ISO 21415-2-2019); показатель седиментации (SDS) – путем определения величины осадка навески муки массой 6 г при набухании в растворе молочной кислоты концентрации 9,4 % с добавлением 2,0%-го раствора додецилсульфата натрия. Оценка качества макаронных изделий описана в монографии И. В. Пахотиной и Ю. В. Колмакова (2012). Дисперсионный анализ данных многофакторного полевого опыта в рандомизированных блоках проводили по методике Б. А. Доспехова (2014). Все расчеты и графики сделаны с использованием пакета статистической программы JASP v.0.19.3 (Нидерланды, 2025).

При оценке метеозащитных элементов использовали наблюдения Омской ГМС, погодные условия имели существенные различия: умеренно влажные условия вегетации сложились в 2022 г. (ГТК = 1,1), засушливые – в 2023 г. (ГТК = 0,8), чрезмерно влажные – в 2024 г. (ГТК = 1,9). Температурный режим в годы проведения исследований соответствовал среднемноголетним данным.

Результаты и их обсуждение. Урожайность зерна в селекции пшеницы служит ключевым показателем при оценке адаптивности сортов и выделению генотипов с широкой нормой реакции на изменение факторов внешней среды. Вариабельность погодных условий обусловила существенные лимиты данного признака в годы исследований: от 8,00–9,83 ц/га в острозасушливом 2023 г. до 29,3–35,2 и 33,0–34,6 ц/га в более благоприятных по влагообеспеченности 2022 и 2024 гг. (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность сортообразцов КАСИБ-22 (2022–2024 гг.)
Table 2. Productivity of variety samples of KASIB-22 (2022–2024)

Сорт, линия	Урожайность, ц/га								В среднем по вегетационному периоду, сут.
	2022 г.	Ранг	2023 г.	Ранг	2024 г.	Ранг	В среднем	Ранг	
Среднеранние									
Янтарная 150	23,5	19	4,40	18	29,2	16	19,0	19	78
Линия 242/243-2020	33,0	9	17,8	1	35,0	8	28,6*	5	77
Линия 248/255-2020	29,3	15	5,30	16	37,5	4	24,1	14	77
Омская янтарная	31,3	11	11,8	8	36,6	7	26,6	10	78
В среднем	29,3	–	9,83	–	34,6	–	24,6	–	78
Среднеспелые									
Гордеиформе 2441	25,7	18	4,80	17	32,3	12	20,9	17	80
Гордеиформе 2246	31,2	12	13,3	4	46,2	1	30,2*	3	81
Омский корунд	30,0	14	8,80	11	36,0	10	24,9	12	80
Леукурум 1005	29,3	15	5,40	15	24,8	20	19,9	18	81
Гордеиформе 1019	31,2	12	7,60	13	25,5	19	21,4	16	82
В среднем	29,5	–	8,00	–	33,0	–	23,5	–	81
Среднепоздние									
Омский изумруд	28,3	17	2,60	20	35,0	8	22,0	15	86
Безенчукская 139	21,0	20	5,60	14	29,0	17	18,5	20	83
АТП Прима	39,5	2	13,8	3	31,7	13	28,3*	7	86
G.13-62-2	33,0	9	10,1	10	30,5	15	24,5	12	85
Омский лазурит	35,5	7	3,30	19	33,6	11	24,1	13	85
G.11-77-3	38,5	3	8,70	12	45,2	2	30,8*	1	86
Линия 2217д-4	36,5	6	12,3	5	36,5	6	28,4*	6	86
Линия 1927д-27	45,8	1	12,0	6	28,2	18	28,7*	4	86
Линия 2285д-3	37,8	4	12,0	7	41,2	3	30,3*	2	86
Линия 1693д-71	36,8	5	15,5	2	31,2	14	27,9	8	84
Жемчужина Сибири, st	34,5	8	10,8	9	33,8	10	26,4	10	83
В среднем	35,2	–	9,72	–	34,2	–	26,4	–	85
НСР ₀₅	0,48	2,5	–	–	–	–	–	–	–

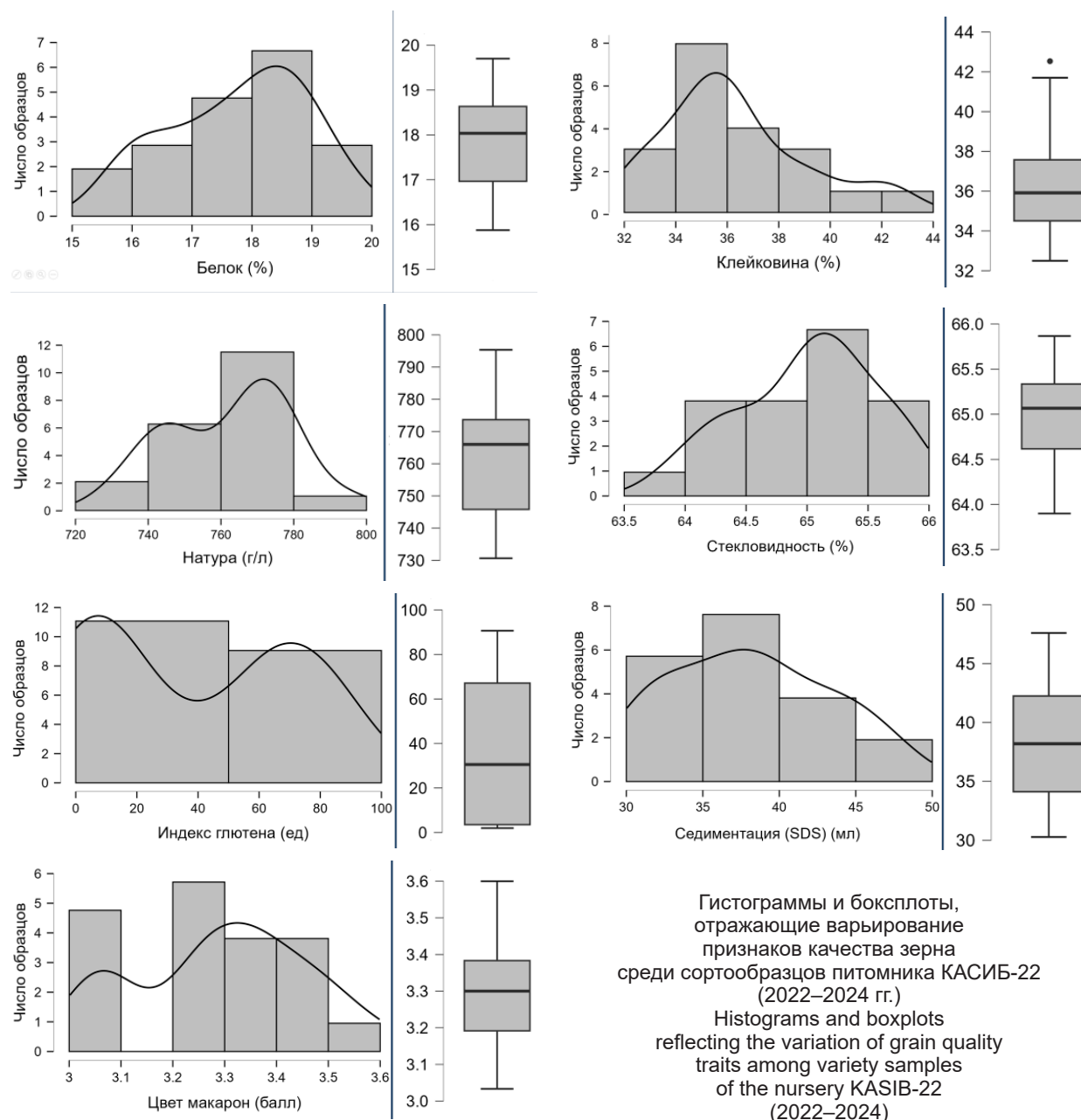
Примечание. * – достоверное превышение над стандартом Жемчужина Сибири.

Сортообразцы среднепоздней группы спелости в среднем за 2022–2024 гг. закономерно сформировали более высокую урожайность – 26,4 ц/га (9,72–35,2 ц/га) в сравнении с среднеранней – 24,6 ц/га (9,83–34,6 ц/га) и среднеспелой группами – 23,5 ц/га (8,00–

33,0 ц/га). Ранжирование сортообразцов питомника КАСИБ-22 по урожайности показало, что к группе (ранги 1–7), превышающей по этому признаку (28,3–30,8 ц/га) местный стандарт Жемчужина Сибири, относятся сортообразцы линия 242/243-2020 (Актюбинская СХОС),

Гордеиформе 2246 (Карабалыкская СХОС), АТП Прима (ФАНЦА), G.11--77-3 (Омский АНЦ), линия 2217д-4, линия 1927д-27, линия 2285д-3 (Самарский НИИСХ). Данные сортообразцы обладают значительным потенциалом для повы-

шения урожайности сортов твердой пшеницы в условиях Западной Сибири. Распределение основных технологических показателей качества зерна среди изученных сортообразцов питомника КАСИБ-22 представлено на рисунке.



Наибольший размах изменчивости отмечен по таким технологическим признакам качества зерна, как натура зерна (731–795 г/л), индекс глютена (2,05–87,1 %) и седиментация (30,1–47,6 мл).

К менее вариабельным признакам отнесены содержание белка и клейковины (15,9–19,7 % и 32,5–42,5 %), стекловидность зерна (63,9–65,9 %) и цвет макарон (3,0–3,6 балла). Доля сортообразцов питомника с высоким содержанием белка и клейковины ($\geq 17,0$ и ≥ 34 %) составила 75 % (рис. 1), что свидетельствует о целенаправленной селекционной работе научных учреждений по повышению данных при-

знаков. Сравнительно недавно Национальным союзом селекционеров и семеноводов было предложено включить в ГОСТ индексы желтизны и глютена как значимые показатели при производстве макаронных изделий (Гапонов и др., 2022). Качество макаронных изделий во многом определяется прочностью и упругостью клейковины, определяемой в том числе с помощью теста седиментации и индекса глютена. В зарубежных исследованиях отмечается высокая доля наследуемости индекса глютена, слабая изменчивость этого признака в зависимости от условий среды и тесная его корреляция с показателем седиментации ($r = 0,78-0,81$)

(Vida et al., 2014). В наших исследованиях выявлена сильная связь между индексом глютена и показателем седиментации ($r = 0,98$; $p < 0,01$), что свидетельствует о том, что данные признаки могут служить надежными критериями для селекционного отбора генотипов с улучшенным качеством клейковины. Однако доля сортообразцов КАСИБ-22 с высокими показателями седиментации (≥ 40 мл) и индекса глютена (≥ 75 ед.) достаточно низкая – 30 и 25 % соответственно.

Нелегкая задача – одновременно совместить в одном генотипе высокую урожайность

и хорошее качество зерна, учитывая отрицательную корреляцию урожайности с содержанием белка и клейковины в зерне. В наших исследованиях такая взаимосвязь составила – $r = -0,61$ и $-0,43$ ($p < 0,05$) соответственно. Выделен пул лучших генотипов с оптимальным цветом макарон (3,1–3,5 балла), высокими характеристиками натуры зерна (749–795 г/л), белка ($\geq 15,9$ %) и клейковины ($\geq 32,7$ %), которые представляют интерес для производства товарного зерна высокого качества и как исходный материал для селекционных программ (табл. 3).

Таблица 3. Показатели качества и урожайности лучших образцов КАСИБ-22 (в среднем за 2022–2024 гг.)
Table 3. Quality and productivity indicators of the best samples of KASIB-22 (mean in 2022–2024)

Сорт, линия	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	Натура зерна г/л	Стекловидность, %	Индекс глютена, ед.	Седиментация, мл	Цвет макарон, балл	Урожайность, ц/га
Янтарная 150	19,2*	42,5*	742	63,9	62,1*	38,5	3,0	19,0
Линия 242/243-2020	17,0	36,2	779*	65,0	46,8*	39,4*	3,4*	28,6*
Гордеиформе 2441	19,7*	41,7*	765	65,8	57,7*	39,7*	3,1	20,9
Гордеиформе 2246	18,3	39,8*	778*	65,7	60,4*	41,9*	3,1	30,2*
АТП Прима	15,9	34,5	749	65,7	63,5*	43,5*	3,5*	28,3*
Леукурум 1005	18,6	38,9*	745	64,1	78,1*	43,2*	3,4*	19,9
G.11-77-3	18,2	36,4	756	65,0	20,8	37,2	3,2	30,8*
Линия 2217д-4	16,4	35,3	774	64,1	84,6*	47,6*	3,4*	28,4*
Линия 1927д-27	15,9	34,3	772	65,1	87,1*	38,4	3,4*	28,7*
Линия 2285д-3	17,3	37,4	772	65,9	81,4*	46,0*	3,3	30,3*
Линия 1693д-71	16,1	32,7	795*	65,2	76,6*	44,9*	3,3	27,9
Жемчужина Сибири	17,2	33,9	738	64,5	25,5	35,9	3,1	26,4
НСР ₀₅	1,6	4,0	40	1,7	20,3	3,5	0,3	0,48

Примечание. * – достоверное превышение над стандартом Жемчужина Сибири.

Уровень урожайности данных сортов составил 27,9–30,8 ц/га, превысив по данному показателю стандарт на 1,5–4,4 ц/га: линия 242/243-2020 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 2246 (Карабалыкская СХОС), АТП Прима (ФАНЦА), G.11–77-3 (Омский АНЦ), линия 2217д-4, линия 1927д-27, линия 2285д-3, линия 1693д-71 (Самарский НИИСХ).

Следует отметить низкие показатели стекловидности зерна выделенных сортообразцов – 64,1–65,9 %. В соответствии с требованиями ГОСТ 9353-2016 для 1–3 классов твердой пшеницы этот показатель должен составлять 70–85 %. Индекс глютена также не соответствует требованиям современного производства, за исключением Леукурум 1005 (ФАНЦА) и линий самарской селекции 2217д-4, 1927д-27, 2285д-3, 1693д-71 – 76,6–87,1 ед. Сортообразцы казахстанской селекции Янтарная 150 и Гордеиформе 2441 отличались более низкой урожайностью (19,0–20,9 ц/га), но повышенной питательной ценностью зерна благодаря высокому содержанию белка (19,2–19,7 %).

Выводы. Селекционная оценка сортообразцов яровой твердой пшеницы из пяти селекционных учреждений России и Казахстана выявила существенную вариативность урожайности в зависимости от условий года. В Западной Сибири сортообразцы линия 242/243-2020 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 2246 (Карабалыкская СХОС), АТП Прима (ФАНЦА), G.11-77-3 (Омский АНЦ), линия 2217д-4, линия 1927д-27, линия 2285д-3 (Самарский НИИСХ) сформировали урожайность (28,3–30,8 ц/га) выше стандарта Жемчужина Сибири и рекомендуются в качестве исходного материала для селекционных программ.

Отмечена сильная связь между индексом глютена и показателем седиментации ($r = 0,98$; $p < 0,01$), что необходимо учитывать для проведения отбора при создании сортов, отвечающих требованиям современного производства. В данном аспекте целесообразно привлечение в гибридизацию генотипов с высоким индексом глютена и показателями седиментации

с целью повышения прочности и упругости клейковины, от которых зависит качество макаронных изделий. С высоким уровнем урожайности (27,9–30,8 ц/га) и улучшенными характеристиками качества зерна (содержание белка – $\geq 15,9\%$, клейковины – $\geq 32,7\%$, натура зерна – 749–795 г/л, индекс глютена – 46,8–87,1 ед., седиментация – 38,4–46,0 мл) целесообразно использовать для производства высококачественных макаронных изделий и для

программ гибридизации в селекции твердой пшеницы сортообразцы линия 242/243-2020 (Актюбинская СХОС), Гордеиформе 2246 (Карабалыкская СХОС), АТП Прима (ФАНЦА), линия 2217д-4, линия 1927д-27, линия 2285д-3, линия 1693д-71 (Самарский НИИСХ).

Финансирование. Исследования проведены за счет средств бюджета ФГБНУ «Омский АНЦ».

Библиографический список

1. Гапонов С. Н., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Цетва И. С., Милованов И. В., Бурмистров Н. А., Жиганова Е. С., Куликова В. А. Новый сорт яровой твердой пшеницы Тамара – источник каротиноидных пигментов // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 51–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: Общая часть. М.: Колос, 2019. 329 с.
4. Пахотина И. В., Колмаков Ю. В. Система оценки качества зерна твердой пшеницы. Омск: ООО ИПЦ «Сфера», 2012. 128 с.
5. Фризен Ю. В., Некрасова Е. В., Гайвас А. А. Влияние отдельных элементов агротехнологии на продуктивность твердой пшеницы в южной лесостепи Омской области // Аграрная наука. 2024. № 379(2). С. 81–86. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-81-86
6. Шаманин В. П., Флис П., Савин Т. В., Шепелев С. С., Кузьмин О. Г., Чурсин А. С., Потоцкая И. В., Лихенко И. Е., Кушнirenко И. Ю., Казак А. А., Чудинов В. А., Шелаева Т. В., Моргунов А. И. Генотипическая и экологическая изменчивость содержания цинка в зерне сортов яровой мягкой пшеницы международного питомника КАСИБ // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 5. С. 543–551. DOI: 10.18699/VJ21.061
7. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Kiryakova M. N., Meshkova L. V., Pakhotina I. V., Glushakov D. A. Promising genetic sources for the creation of varieties of durum spring wheat in Western Siberia // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022. Vol. 26(7). P. 609–621. DOI: 10.18699/VJGB-22-75
8. Tajibayev D., Yusov V. S., Chudinov V. A., Mal'chikov P. N., Rozova M. A., Shamanin V. P., Morgounov A. I. Genotype by environment interactions for spring durum wheat in Kazakhstan and Russia // Ecological Genetics and Genomics. 2021. Vol. 21(6), Article number: 100099. DOI: 10.1016/j.egg.2021.100099
9. Tajibayev D., Mukin K., Babkenov A., Chudinov V., Dababat A. A., Jiyenbayeva K., Baloch F. S. Exploring the Agronomic Performance and Molecular Characterization of Diverse Spring Durum Wheat Germplasm in Kazakhstan // Agronomy. 2023. Vol. 13, Article number: 1955. DOI: 10.3390/agronomy13071955
10. Vida G., Szunics L., Veisz O., Bedő Z., Láng L., Árendás T., Rakszegi M. Effect of genotypic, meteorological and agronomic factors on the gluten index of winter durum wheat // Euphytica. 2014. Vol. 197. P. 61–71. DOI: 10.1007/s10681-013-1052-6

References

1. Gaponov S. N., Shutareva G. I., Tsetva N. M., Tsetva I. S., Milovanov I. V., Burmistrov N. A., Zhiganova E. S., Kulikova V. A. Novyi sort yarovoi tverdoi pshenitsy Tamara – istochnik karotinoidnykh pigmentov [New spring durum wheat variety 'Tamara' as a source of carotenoid pigments] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 51–56. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56
2. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: Obshchaya chast' [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M.: Kolos, 2019. 329 s.
4. Pakhotina I. V., Kolmakov Yu. V. Sistema otsenki kachestva zerna tverdoi pshenitsy. [Estimation system of durum wheat grain quality: monograph]. Omsk: ООО ИПЦ «Сфера», 2012. 128 s.
5. Frizen Yu. V., Nekrasova E. V., Gaivas A. A. Vliyaniye ot del'nykh elementov agrotekhnologii na produktivnost' tverdoi pshenitsy v yuzhnoi lesostepi Omskoi oblasti [The effect of individual elements of agricultural technology on durum wheat productivity in the southern forest-steppe of Omsk region] // Agrarnaya nauka. 2024. № 379 (2). S. 81–86. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-81-86
6. Shamanin V. P., Flis P., Savin T. V., Shepelev S. S., Kuz'min O. G., Chursin A. S., Pototskaya I. V., Likhenco I. E., Kushnirenko I. Yu., Kazak A. A., Chudinov V. A., Shelaeva T. V., Morgunov A. I. Genotipicheskaya i ekologicheskaya izmenchivost' soderzhaniya tsinka v zerne sortov yarovoi myagkoi pshenitsy mezhdu narodnogo pitomnika KASIB [Genotypic and ecological variability of zinc content in grain of spring common wheat varieties of the international nursery KASIB] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 5. S. 543–551. DOI: 10.18699/VJ21.061
7. Evdokimov M. G., Yusov V. S., Kiryakova M. N., Meshkova L. V., Pakhotina I. V., Glushakov D. A. Promising genetic sources for the creation of varieties of durum spring wheat in Western Siberia // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022. Vol. 26(7). P. 609–621. DOI: 10.18699/VJGB-22-75

8. Tajibayev D., Yusov V. S., Chudinov V. A., Mal'chikov P. N., Rozova M. A., Shamanin V. P., Morgounov A. I. Genotype by environment interactions for spring durum wheat in Kazakhstan and Russia // *Ecological Genetics and Genomics*. 2021. Vol. 21(6), Article number: 100099. DOI: 10.1016/j.egg.2021.100099

9. Tajibayev D., Mukin K., Babkenov A., Chudinov V., Dababat A.A., Jiyenbayeva K., Baloch F. S. Exploring the Agronomic Performance and Molecular Characterization of Diverse Spring Durum Wheat Germplasm in Kazakhstan // *Agronomy*. 2023. Vol. 13, Article number: 1955. DOI: 10.3390/agronomy13071955

10. Vida G., Szunics L., Veisz O., Bedő Z., Láng L., Árendás T., Rakszegi M. Effect of genotypic, meteorological and agronomic factors on the gluten index of winter durum wheat // *Euphytica*. 2014. Vol. 197. P. 61–71. DOI: 10.1007/s10681-013-1052-6

Поступила: 25.05.25; доработана после рецензирования: 23.06.25; принята к публикации: 23.06.25.

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

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шпигель А. Л. – выполнение полевых опытов, сбор данных, математическая обработка; Юсов В. С. – выполнение полевых опытов, анализ данных; Потоцкая И. В. – анализ данных, обзор литературы и написание статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОИСК АЛЛЕЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ПИРЕНОФОРОЗУ TSC2 В ОБРАЗЦАХ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

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

Д. М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Озимая мягкая пшеница – это одна из наиболее значимых продовольственных культур в России и во всем мире. Она имеет большое значение для обеспечения продовольственной безопасности. Тем более важно создавать сорта, устойчивые к эпифитотиям опасных листовых болезней, таких как пиренофороз. Одним из главных генов, обеспечивающих устойчивость пшеницы к этому заболеванию, является ген Tsc2. Ранее коллекция и селекционные образцы отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» не оценивались на устойчивость к пиренофорозу методами молекулярной диагностики. Целью работы является изучение коллекционного и селекционного материала озимой мягкой пшеницы для идентификации аллелей гена устойчивости к пиренофорозу Tsc2. Анализ проводили в 2023–2024 гг. в лаборатории клеточной селекции по направлению «маркерная селекция». Объект исследования – 102 образца озимой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения. Для определения аллелей гена устойчивости к пиренофорозу Tsc2 использовали молекулярный маркер XBE444541. Распределение образцов производили по размерам аллелей: 340 пар нуклеотидов (п. н.) для доминантного, чувствительного к ToxB, типа; 505 п. н. для рецессивного, устойчивого к патогену. В результате проведенного исследования было выявлено широкое аллельное разнообразие у ряда изучаемых образцов. Установлено наличие новых аллелей размерами 400, 450 и 490 пар нуклеотидов. У 48 образцов выявлен доминантный аллель гена Tsc2, связанный с восприимчивостью к токсину ToxB возбудителя пиренофороза. У 11 образцов установлено наличие рецессивного аллеля Tsc2, сцепленного с устойчивостью к заболеванию, но в гетерозиготном аллельном состоянии (АСВ 141, Васса, СО 911, Гром, Liangxing 99, Fuimai 5, Вояж, Универ, Фазенда, 591/20 и 1278/21). Для улучшения устойчивости озимой мягкой пшеницы к пиренофорозу рекомендуем использование в селекционных программах образцов с аллелем tsc2.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, Tsc2, устойчивость, аллель, пиренофороз.

Для цитирования: Вождова Н. Н., Марченко Д. М. Поиск аллеля устойчивости к пиренофорозу Tsc2 в образцах озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 65–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-65-69.



SEARCH FOR PYRENOPHOROSIS RESISTANCE ALLELE TSC2 IN WINTER COMMON WHEAT SAMPLES

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

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Winter common wheat is one of the most important food crops in Russia and worldwide. It plays a vital role in ensuring food safety. This makes it important to develop varieties resistant to dangerous foliar diseases such as pyrenophorus. One of the key genes providing resistance to this disease is the gene Tsc2. Previously, the collection and breeding samples of the department of winter wheat breeding and seed production of the FSBSI “ARC “Donskoy” were not evaluated for pyrenophorus resistance using molecular diagnostic methods. The purpose of the current work was to study collection and breeding material of winter common wheat to identify alleles of the pyrenophorus resistance gene Tsc2. The analysis was conducted in the laboratory of cell breeding, dealing with marker-assisted breeding in 2023–2024. The objects of the study were 102 winter common wheat samples of varying ecological and geographical origins. To identify alleles of the pyrenophorus resistance gene Tsc2, there has been used the molecular marker XBE444541. The samples were distributed according to allele size with 340 base pairs (bp) for the dominant, ToxB-sensitive type; 505 bp for the recessive, pathogen-resistant type. There has been established an extensive allelic diversity in several samples studied. There have been identified new alleles of 400, 450, and 490 base pairs in size. There has been identified a dominant allele of the gene Tsc2, associated with susceptibility to the ToxB toxin of the pyrenophorus pathogen in 48 samples. Eleven samples have been found to carry the recessive allele tsc2, which is linked to disease resistance, but in a heterozygous allelic state (ASV 141, Vassa, SO 911, Grom, Liangxing 99, Fuimai 5, Voyazh, Univer, Fazenda, 591/20, and 1278/21). To improve winter common wheat resistance to pyrenophorus, there has been recommended using samples carrying the allele tsc2 in breeding programs.

Keywords: winter common wheat, tsc2, resistance, allele, pyrenophorus.

Введение. Озимая мягкая пшеница является одной из наиболее значимых продовольственных культур, высеваемых в России (Малкандуев и др., 2022). В мировом производстве она также находится на лидирующих позициях (Dadrasi et al., 2023). Пшеница является стратегическим ресурсом, важным для обеспечения продовольственной безопасности. Из зерна озимой мягкой пшеницы изготавливаются разнообразные продукты, используемые для питания населения, – крупа, мука, хлебобулочные изделия и т.д. (Wysocka et al., 2024).

Для обеспечения собственных потребностей и использования пшеничного зерна в качестве экспортируемого продукта необходимы высокие урожаи данной культуры.

Однако даже самые лучшие по урожайности сорта могут оказаться восприимчивыми к эпифитотиям опасных болезней зерновых культур, таких как пиренофороз.

Признаки развития пиренофороза схожи на начальном этапе с признаками желтой ржавчины, но вызываются воздействием гриба *Pyrrenophora tritici.repentis* (Ким и Волкова, 2020). Токсины, продуцируемые жизнедеятельностью патогена, значительно снижают урожайность озимой мягкой пшеницы (до 49 %). Токсин ToxB воздействует на растения медленнее, чем токсин ToxA, и вызывает хлорозы (Коваленко и др., 2022).

Таким образом, помимо высокоурожайных сортов, необходима селекция озимой мягкой пшеницы на устойчивость к пиренофорозу. Ранее зарубежными учеными были идентифицированы несколько генов, связанных с устойчивостью к этому заболеванию. Одним из главных генов, обеспечивающих устойчивость растений пшеницы к вырабатываемому патогеном токсину ToxB, является ген Tsc2 (Faris et al., 2013).

Оценка этого гена и идентификация аллелей устойчивости и восприимчивости к токсину ToxB выполняется как на пшенице, так и на других зерновых культурах в различных странах, таких как Казахстан (Кохметова и др., 2019), Канада (Tran et al., 2017; Wei et al., 2020), США (Singh et al., 2022), Новая Зеландия (Weith et al., 2021), Австралия (See et al., 2019) и др.

В России значительное внимание проблеме устойчивости к пиренофорозу уделяется в ФГБНУ ВИЗР, где оцениваются районированные сорта озимой и яровой мягкой пшеницы (Коваленко и др., 2022).

Для ведения селекционной работы по направлению устойчивости к пиренофорозу необходимы не только знание о наличии генов устойчивости у ранее районированных сортов, но и информация об аллелях устойчивости в селекционном и коллекционном материале, особенно при отсутствии специализированного инфекционного фона. Образцы с устойчивостью к пиренофорозу являются ценными источниками и могут быть использованы в скрещиваниях в целях создания новых устойчивых сортов и генотипов.

В отделе селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» представлена обширная коллекция сортов из разных эколого-географических зон, в том числе собственные сорта и линии, однако скрининг их устойчивости к пиренофорозу методами молекулярной диагностики не выполнялся.

Поэтому нами была поставлена следующая цель исследований – изучить коллекционный и селекционный материал озимой мягкой пшеницы и идентифицировать аллели гена устойчивости к пиренофорозу Tsc2.

Материалы и методы исследований. В 2023–2024 гг. в лаборатории клеточной селекции по направлению «маркерная селекция» проводили изучение 102 образцов озимой мягкой пшеницы. Коллекционные образцы и селекционные линии для исследования были предоставлены отделом селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской».

ДНК выделяли из молодых проростков озимой пшеницы СТАВ-методом с модификациями в двукратной повторности (Yadav et al., 2021). Оценку количества и качества ДНК проводили при помощи спектрофотометра Allsheng Nano-500 (Китай).

Для определения аллелей гена устойчивости к пиренофорозу Tsc2 использовали молекулярный маркер XBE444541 (Abeysekara et al., 2010). В качестве внутреннего контроля прохождения ПЦР использовали молекулярный маркер «гена домашнего хозяйства» Тубулина А, дающий ампликон размером около 200 пар нуклеотидов.

Ампликоны разделяли при помощи горизонтального электрофореза в агарозных 2%-х гелях. Бромистый этидий использовали для окрашивания в течение 30 мин. Свечение ампликонов в ультрафиолетовом свете фиксировали прибором Bio-Rad GelDoc XR+ и затем оценивали их размер с помощью программного обеспечения Bio-Rad ImageLab 5.1.

Распределение образцов производили по размерам аллелей: 340 пар нуклеотидов (п.н.) для доминантного, чувствительного к ToxB, типа; 505 п. н. для рецессивного, устойчивого к патогену (Abeysekara et al., 2010; Кохметова и др., 2018).

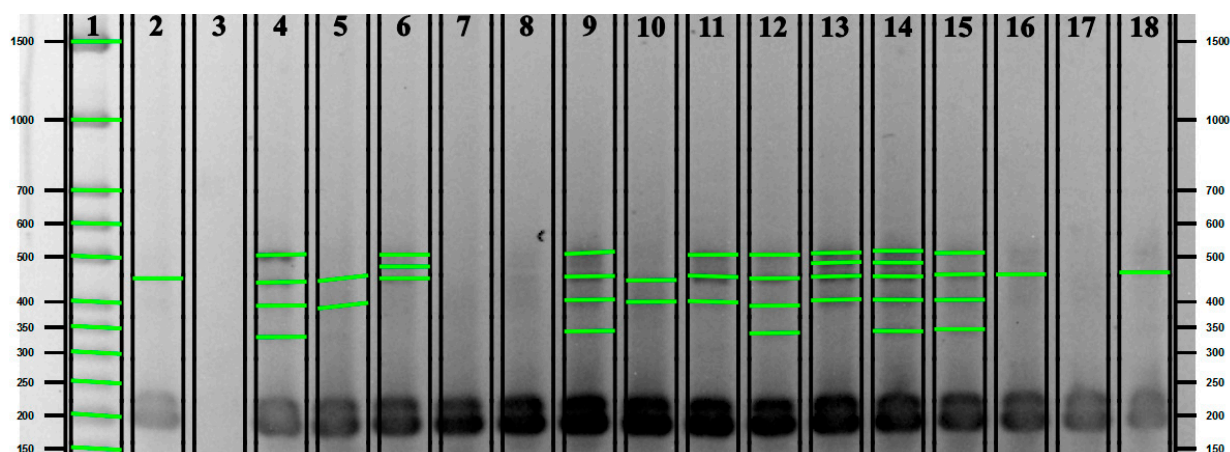
Результаты и их обсуждение. Изучаемые образцы озимой мягкой пшеницы были представлены сортами селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» (51 шт.), сортами из других эколого-географических зон (27 шт.) и селекционными линиями отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы (24 шт.).

В нашем центре отсутствует специализированный инфекционный фон для изучения устойчивости озимой пшеницы к пиренофорозу, поэтому было особенно важно выявить наличие аллелей устойчивости к данному патогену.

В конце 2023 г. нами было проведено предварительное исследование некоторых коллекционных образцов озимой пшеницы, в котором ни одного из аллелей гена Tsc2 выявить не удалось.

Однако в исследовании 2024 г. на большем количестве материала удалось выявить широкое аллельное разнообразие гена *Tsc2*

у некоторых образцов озимой мягкой пшеницы (см. рисунок).



Электрофореграмма скрининга образцов озимой мягкой пшеницы на наличие аллелей гена устойчивости к пиренофорозу *Tsc2*, продукты амплификации с маркером XBE444541:

1 – маркер молекулярного веса Biolabmix Step 50+ bp, 2 – Марафон (контрольный образец), 3 – H₂O деионизированная (отрицательный контроль опыта), 4 – ACB 141, 5 – Победа 75, 6 – Казачка, 7 – CIMMYT № 42, 8 – Кипчак, 9 – Васса, 10 – Лучезар, 11 – Fuimai 5, 12 – CO 911, 13 – Вояж, 14 – Гром, 15 – Liangxing 99, 16 – Akter, 17 – Этана, 18 – MV-15-04

Electropherogram of winter common wheat samples screening for the presence of alleles of the pyrenophorus resistance gene *Tsc2*, amplification products with marker XBE444541:

1 – molecular weight marker Biolabmix Step 50+ bp, 2 – Marathon (control sample), 3 – deionized H₂O (negative control of the trial), 4 – ASV 141, 5 – Pobeda 75, 6 – Kazachka, 7 – CIMMYT No. 42, 8 – Kipchak, 9 – Vassa, 10 – Luchezar, 11 – Fuimai 5, 12 – SO 911, 13 – Voyazh, 14 – Grom, 15 – Liangxing 99, 16 – Akter, 17 – Etana, 18 – MV-15-04

У ряда образцов, представленных на рисунке, идентифицировано от 1 до 5 ампликонов различных размеров в целевом районе (350–600 п. н.). Это свидетельствует о широком генетическом разнообразии этих образцов. Так, внутри последовательности ДНК, ограничиваемой разработанными на ген *Tsc2* праймерами, у разных сортов могли в процессе их селекции и/или развития и приспособления к различным эколого-географическим условиям произойти изменения – делеции (когда часть нуклеотидов пропадает из последовательности, в этом случае размер ампликона может быть меньше, чем у изначально протестированного сорта) или инсерции (вставки одного или нескольких нуклеотидов, в этом случае размер ампликона становится больше, чем у изначально протестированного сорта). Эти изменения в генетическом коде могли по-разному повлиять на фенотипическое проявление действия гена *Tsc2* – как в положительном, так и в отрицательном ключе.

У сорта Казачка (помимо рецессивного аллеля 505 п. н.) наблюдаются ампликоны размерами около 450 и 490 п. н., а у сорта Fuimai 5 – около 400 и 450 п. н.

У сорта Вояж доминантного аллеля гена *Tsc2*, сцепленного с восприимчивостью к пиренофорозу, не выявлено, однако у него наблюдаются ампликоны размерами около 400, 450 и 490 пар нуклеотидов.

У сортов Победа 75 и Лучезар идентифицировано два аллеля размерами около 400

и 450 п. н. У сортов Akter и MV-15-04 идентифицирован один аллель размером около 450 п. н.

У образцов CIMMYT № 42, Кипчак и Этана не выявлено ни одного аллеля гена *Tsc2*, следовательно, они могут быть неустойчивыми к поражению пиренофорозом.

У сортов ACB 141, Казачка, Васса, Fuimai 5, CO 911, Вояж, Гром и Liangxing 99 идентифицирован ампликон размером 505 п. н., что соответствует размеру рецессивного аллеля гена *Tsc2*, сцепленного с устойчивостью к токсину Ptr ToxB. В то же время эти сорта несут и другие ампликоны меньших размеров. Так, у сортов ACB 141, Васса, CO 911, Гром и Liangxing 99, помимо ампликонов размерами около 400, 450 и 490 п. н., наблюдаются ампликоны размером 340 п. н., соответствующие размеру доминантного аллеля гена *Tsc2*, сцепленного с чувствительностью к токсину гриба-возбудителя пиренофороза.

Таким образом, сорта с выявленными доминантным и рецессивным аллелями (ACB 141, Васса, CO 911, Гром и Liangxing 99) являются гетерозиготными по гену устойчивости к пиренофорозу *Tsc2*. Это может быть связано с наличием в составе этих сортов различных биотипов растений, где один биотип несет доминантный неустойчивый аллель, а другой – рецессивный устойчивый.

Всего по результатам исследования было выявлено 11 образцов (10,78 %) озимой мягкой пшеницы, несущих аллель устойчивости к пиренофорозу *tsc 2* (таблица).

**Идентифицированные образцы озимой мягкой пшеницы,
несущие аллель устойчивости к пириенофорозу Tsc 2**
Identified winter common wheat
samples carrying the allele of the pyrenophorus resistance gene Tsc2

№ п/п	Наименование	№ п/п	Наименование
1	ACB 141	7	Вояж
2	Васса	8	Универ
3	СО 911	9	Фазенда
4	Гром	10	591/20
5	Liangxing 99	11	1278/21
6	Fuimai 5	—	—

У 48 образцов (47,06 %) выявлен доминантный аллель гена Tsc2, связанный с восприимчивостью к пириенофорозу, у ряда из которых наблюдалось наличие дополнительных аллелей с размерами ампликонов около 400, 450 и 490 пар нуклеотидов. У остальных 43 образцов (42,16 %) аллели гена Tsc2 не были выявлены.

Сорта с выявленным широким разнообразием аллелей гена Tsc2 (Казачка, Fuimai 5, Вояж, Победа 75, Лучезар, Akter и MV-15-04) могут быть ценным генетическим материалом при подтверждении сцепления с устойчиво-

стью к пириенофорозу того или иного выявленного у них дополнительного аллеля.

Выводы.

1. Выявлено 11 образцов с аллелем устойчивости к пириенофорозу Tsc2 (ACB 141, Васса, СО 911, Гром, Liangxing 99, Fuimai, Вояж, Универ, 591/20, Фазенда и 1278/21).

2. Для улучшения устойчивости озимой мягкой пшеницы к пириенофорозу рекомендуем использование в селекционных программах образцов с идентифицированным аллелем Tsc2.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № 0505-2023-0002.

Библиографический список

1. Ким Ю. С., Волкова Г. В. Желтая пятнистость листьев пшеницы: распространение, вредоносность, расовый состав (обзор) // Вестник Ульяновской ГСХА. 2020. № 2(50). С. 105–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-105-116
2. Коваленко Н. М., Шайдаюк Е. Л., Гулятьева Е. И. Характеристика устойчивости районированных сортов мягкой пшеницы к возбудителю желтой пятнистости // Биотехнология и селекция растений. 2022. № 5(2). С. 15–24. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-03
3. Кохметова А. М., Али С., Сапахова З., Атишова М. Н. Идентификация генотипов-носителей устойчивости к токсинам пириенофороза PtrToxA и PtrToxB Pyrenophora tritici-repentis в коллекции мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(8). С. 978–986. DOI: 10.18699/VJ18.440
4. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Формирование урожая и качества зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от предшественников и условий возделывания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 3(107). С. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50
5. Кохметова А. М., Атишова М. Н., Кумарбаева М. Т., Леонова И. Н. Фитопатологический скрининг и молекулярный анализ гермоплазмы пшеницы из Казахстана и CIMMYT на устойчивость к пириенофорозу // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(7). С. 879–886. DOI: 10.18699/VJ19.562
6. Abeysekara N. S., Friesen T. L., Liu Z., McClean P. E., Faris J. D. Marker development and saturation mapping of the tan spot Ptr ToxB sensitivity locus Tsc2 in hexaploid wheat // Plant Genome. 2010. Vol. 3. P. 179–189. DOI: 10.3835/plantgenome2010.07.0017
7. Dadrasi A., Chaichi M., Nehbandani A., Soltani E., Nemati A., Salmani F., Heydari M., Yousefi A. R. Global insight into understanding wheat yield and production through Agro-Ecological Zoning // Scientific Reports. 2023. Vol. 13(1), Article number: 15898. DOI: 10.1038/s41598-023-43191-x
8. Faris J. D., Liu Z., Xu S. S. Genetics of tan spot resistance in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2013. Vol. 126(9). P. 2197–2217. DOI: 10.1007/s00122-013-2157-y
9. See P. T., Iagallo E. M., Oliver R. P., Moffat C. S. Heterologous expression of the Pyrenophora tritici-repentis effector proteins ToxA and ToxB, and the prevalence of effector sensitivity in Australian cereal crops // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 10, Article number: 10.00182. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00182
10. Singh G., Running K., Peters Haugrud A., Seneviratne S., Zhang Z., Szabo-Hever A., Acharya K., Liu Z., Dubcovsky J., Faris J. D. Towards the molecular cloning of tan spot susceptibility gene Tsc2 in wheat [abstract] // Plant and Animal Genome 30 Conference. 2022. Poster No. PE0550
11. Tran V. A., Aboukhaddour R., Strelkov I. S., Bouras N., Spaner D., Strelkov S. E. The sensitivity of Canadian wheat genotypes to the necrotrophic effectors produced by Pyrenophora tritici-repentis // Canadian Journal of Plant Pathology. 2017. Vol. 39(2). P. 149–162. DOI: 10.1080/07060661.2017.1339125
12. Wei B., Moscou M. J., Sato K., Gourlie R., Strelkov S., Aboukhaddour R. Identification of a locus conferring dominant susceptibility to Pyrenophora tritici-repentis in barley // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11, Article number: 158. DOI: 10.3389/fpls.2020.00158
13. Weith S., Ridgway H. J., Jones E. E. Determining the presence of host specific toxin genes, Tox A and ToxB, in New Zealand Pyrenophora tritici-repentis isolates, and susceptibility of wheat cultivars // New Zealand Plant Protection. 2021. Vol. 74(1). P. 20–29. DOI: 10.30843/nzpp.2021.74.11724

14. Wysocka K., Cacak-Pietrzak G., Feledyn-Szewczyk B., Studnicki M. The Baking quality of wheat flour (*Triticum aestivum* L.) obtained from wheat grains cultivated in various farming systems (Organic vs. Integrated vs. Conventional) // Applied Sciences. 2024. Vol. 14(5), Article number: 1886. DOI: 10.3390/app14051886
15. Yadav A., Sharma A., Kumar A., Yadav R., Kumar R. SSR based molecular profiling of elite cultivars of basmati rice (*Oryza sativa* L.) // Research Journal of Biotechnology. 2021. Vol. 16(12). P. 55–63. DOI: 10.25303/1612rjbt5563

References

1. Kim Yu. S., Volkova G. V. Zheltaya pyatnistost' list'ev pshenitsy: rasprostraneniye, vredonosnost', rasovyyi sostav (obzor) [Spackled yellows of wheat leaves: distribution, injuriousness, racial composition (review)] // Vestnik Ul'yanovskoi GSKhA. 2020. № 2(50). S. 105–116. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-105-116
2. Kovalenko N. M., Shaidayuk E. L., Gul'tyaeva E. I. Kharakteristika ustoichivosti raionirovannykh sortov myagkoi pshenitsy k vozбудителю zheltoi pyatnistosti [Characteristics of resistance of regionalized common wheat varieties to the yellow leaf blotch pathogen] // Biotehnologiya i selektsiya rastenii. 2022. № 5(2). S. 15–24. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-o3
3. Kokhmetova A. M., Ali S., Sapakhova Z., Atishova M. N. Identifikatsiya genotipov-nositelei ustoichivosti k toksinam pirenoforoza PtrToxA i PtrToxB Pyrenophora tritici-repentis v kolleksii myagkoi pshenitsy [Identification of genotypes carrying resistance to the Pyrenophora tritici-repentis toxins PtrToxA and PtrToxB in a common wheat collection] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. № 22(8). S. 978–986. DOI: 10.18699/VJ18.440
4. Malkanduev Kh. A., Shamurzaev R. I., Malkandueva A. Kh. Formirovaniye uroz'haya i kachestva zerna sortov ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov i uslovii vozdeleyvaniya [Formation of productivity and grain quality in winter wheat varieties depending on forecrops and cultivation conditions] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2022. № 3(107). S. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50
5. Kokhmetova A. M., Atishova M. N., Kumarbaeva M. T., Leonova I. H. Fitopatologicheskii skringing i molekulyarnyi analiz germoplazmy pshenitsy iz Kazakhstana i CIMMYT na ustoichivost' k pirenoforoze [Phytopathological screening and molecular marker analysis of wheat germplasm from Kazakhstan and CIMMYT for resistance to tan spot] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. № 23(7). S. 879–886. DOI: 10.18699/VJ19.562
6. Abeysekara N. S., Friesen T. L., Liu Z., McClean P. E., Faris J. D. Marker development and saturation mapping of the tan spot PtrToxB sensitivity locus Tsc2 in hexaploid wheat // Plant Genome. 2010. Vol. 3. P. 179–189. DOI: 10.3835/plantgenome2010.07.0017
7. Dadras A., Chaichi M., Nehbandani A., Soltani E., Nemati A., Salmani F., Heydari M., Yousefi A. R. Global insight into understanding wheat yield and production through Agro-Ecological Zoning // Scientific Reports. 2023. Vol. 13(1), Article number: 15898. DOI: 10.1038/s41598-023-43191-x
8. Faris J. D., Liu Z., Xu S. S. Genetics of tan spot resistance in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2013. Vol. 126(9). P. 2197–2217. DOI: 10.1007/s00122-013-2157-y
9. See P. T., Iagallo E. M., Oliver R. P., Moffat C. S. Heterologous expression of the Pyrenophora tritici-repentis effector proteins ToxA and ToxB, and the prevalence of effector sensitivity in Australian cereal crops // Frontiers in Microbiology. 2019. Vol. 10, Article number: 10.00182. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00182
10. Singh G., Running K., Peters Haugrud A., Seneviratne S., Zhang Z., Szabo-Hever A., Acharya K., Liu Z., Dubcovsky J., Faris J. D. Towards the molecular cloning of tan spot susceptibility gene Tsc2 in wheat [abstract] // Plant and Animal Genome 30 Conference. 2022. Poster No. PE0550
11. Tran V. A., Aboukhaddour R., Strelkov I. S., Bouras N., Spaner D., Strelkov S. E. The sensitivity of Canadian wheat genotypes to the necrotrophic effectors produced by Pyrenophora tritici-repentis // Canadian Journal of Plant Pathology. 2017. Vol. 39(2). P. 149–162. DOI: 10.1080/07060661.2017.1339125
12. Wei B., Moscou M. J., Sato K., Gourlie R., Strelkov S., Aboukhaddour R. Identification of a locus conferring dominant susceptibility to Pyrenophora tritici-repentis in barley // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11, Article number: 158. DOI: 10.3389/fpls.2020.00158
13. Weith S., Ridgway H. J., Jones E. E. Determining the presence of host specific toxin genes, ToxA and ToxB, in New Zealand Pyrenophora tritici-repentis isolates, and susceptibility of wheat cultivars // New Zealand Plant Protection. 2021. Vol. 74(1). P. 20–29. DOI: 10.30843/nzpp.2021.74.11724
14. Wysocka K., Cacak-Pietrzak G., Feledyn-Szewczyk B., Studnicki M. The Baking quality of wheat flour (*Triticum aestivum* L.) obtained from wheat grains cultivated in various farming systems (Organic vs. Integrated vs. Conventional) // Applied Sciences. 2024. Vol. 14(5), Article number: 1886. DOI: 10.3390/app14051886
15. Yadav A., Sharma A., Kumar A., Yadav R., Kumar R. SSR based molecular profiling of elite cultivars of basmati rice (*Oryza sativa* L.) // Research Journal of Biotechnology. 2021. Vol. 16(12). P. 55–63. DOI: 10.25303/1612rjbt5563

Поступила: 06.08.25; доработана после рецензирования: 29.09.25; принята к публикации: 30.09.25.

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. Вожжова Н. Н. – анализ данных и их интерпретация, сбор литературных данных и подготовка рукописи; Марченко Д. М. – концептуализация исследований, предоставление образцов для анализа.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 632.954: 633.111.1

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-70-75

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСЕННЕЙ ОБРАБОТКИ ПОСЕВОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НОВЫМ ГЕРБИЦИДОМ ФОМДОС, КС

А. С. Голубев, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Центра биологической регламентации использования пестицидов, golubev100@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-0303-7442;

А. С. Ткач, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник
Центра биологической регламентации использования пестицидов, andrew_tka4@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7235-1596

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»,
196608, г. Санкт-Петербурге, г. Пушкин, ш. Подбельского, 3

В статье приведены результаты полевых мелкоделяночных опытов с новым комбинированным гербицидом Фомдос, КС (400 г/л флуфенацета + 100 г/л дифлюфеникана) на посевах озимой пшеницы в течение двух вегетационных периодов (2020–2021 и 2021–2022 гг.). Цель исследования – в полевых условиях определить биологическую и хозяйственную эффективность осеннего внесения этого гербицида. Опыты закладывали в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению регистрационных испытаний гербицидов» (2020) в Рязанской, Воронежской и Волгоградской областях на сортах Московская 39, Даная, Безостая 100, Антонина, Новоершовская. Учеты засоренности посевов осуществляли с помощью количественно-весового метода осенью (перед внесением гербицидов, через две недели и через месяц после обработки) и весной (при возобновлении вегетации растений), а также перед уборкой урожая. Применение гербицида Фомдос, КС обеспечивало высокий уровень контроля сорных растений: в варианте с максимальной нормой его применения (0,8 л/га) снижение общего количества сорных растений составляло 79,4–98,0 %, снижение массы малолетних двудольных сорных растений – 76,8–98,8 %, снижение массы малолетних злаковых сорных растений – 89,1–100 %. Использование изучаемого препарата в нормах применения 0,4–0,8 л/га было высокоэффективным в борьбе с наиболее часто встречающимися в опытах видами: пастушьей сумкой, подмаренником цепким, фиалкой полевой и метлицей обыкновенной. Во всех вариантах с изучаемым гербицидом были получены статистически достоверные прибавки урожая культуры по сравнению с контролем без обработки (от 0,12 до 0,99 т/га в зависимости от региона и года исследований).

Ключевые слова: озимая пшеница, гербицид, сорные растения, биологическая эффективность.

Для цитирования: Голубев А. С., Ткач А. С. Оценка эффективности осенней обработки посевов озимой пшеницы новым гербицидом Фомдос, КС // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 70–75.
DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-70-75.



ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF AUTUMN TREATMENT OF WINTER WHEAT CROPS WITH A NEW HERBICIDE FOMDOS, SC

A. S. Golubev, Candidate Biological Sciences, leading researcher
of the Center for biological regulation of pesticide use, golubev100@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-0303-7442;

A. S. Tkach, Candidate Biological Sciences, junior researcher
of the Center for biological regulation of pesticide use, andrew_tka4@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7235-1596

FSBSI "All-Russian Institute of Plant Protection",
196608, St. Petersburg, Pushkin, Podbelsky Av., 3

The current paper has presented the results of small-plot field trials with a new combined herbicide Fomdos, SC (400 g/l flufenacet + 100 g/l diflufenican) on winter wheat crops during two vegetation periods (2020–2021 and 2021–2022). The purpose of the current study was to determine the biological and economic efficiency of autumn application of this herbicide in field conditions. The trials were carried out on the varieties 'Moskovskaya 39', 'Danaya', 'Bezostaya 100', 'Antonina', 'Novoershovskaya' in accordance with the "Methodological recommendations for conducting registration tests of herbicides" (2020) in the Ryazan, Voronezh and Volgograd regions. Weed infestation of crops was recorded using the quantitative-weight method in autumn (before applying herbicides, two weeks and a month after treatment) and in spring (upon resumption of plant vegetation), as well as before harvesting. The use of the herbicide Fomdos, SC has provided a high level of weed control. In the variant with the maximum rate of its application (0.8 l/ha), the reduction in the total number of weeds was 79.4–98.0 %, the reduction in the mass of young dicotyledonous weeds was 76.8–98.8 %, and the reduction in the mass of young cereal weeds was 89.1–100 %. The use of the studied product at the rates of 0.4–0.8 l/ha was highly effective in controlling the most frequently encountered species in the trials such as shepherd's purse, bedstraw, field violet and windgrass. In all variants with the studied herbicide, there have been obtained statistically significant increases crop yield compared to the control without treatment (from 0.12 to 0.99 t/ha depending on the region and year of the study).

Keywords: winter wheat, herbicide, weeds, biological efficiency.

Введение. Значительное количество семян сорных растений в почве, обеспечивающее сильную засоренность посевов зерновых колосовых культур, наряду с невысокой конкурентной способностью последних на ранних этапах роста и развития являются основными факторами недобора урожайности зерна (Фетюхин и Баранов, 2019). Избежать таких потерь помогает проведение обработок посевов озимой пшеницы с использованием химических средств защиты растений (Савва и др., 2021; Тарчоков и др., 2022; Загоруйко и др., 2024). Согласно рекомендациям белорусских исследователей из РУП «Институт защиты растений» озимые зерновые культуры желательнее обрабатывать гербицидами в осенний период, учитывая широкое распространение в их посевах комплекса как двудольных, так и злаковых сорняков (в частности, метлицы обыкновенной – *Apera spica-venti* (L.) Beauv.) (Якимович и Сорока, 2022). Для проведения такого рода комплексных обработок они рекомендуют использовать гербициды на основе изопротурона, дифлюфеникана, метрибузина, флуфенацета, пендиметалина, просульфокарба, а также некоторые препараты из класса сульфонилмочевин. В нашей стране разрешены для применения препараты на основе первых четырех действующих веществ (Нефедьева и др., 2020; Голубев и Долженко, 2020; Захарова и Рожкова, 2020).

Важной стратегией предотвращения развития резистентности к гербицидам у сорных растений является использование комбинированных препаратов, содержащих действующие вещества из разных химических классов и с различным механизмом действия (Сорока и др., 2024).

Этим требованиям отвечает новый комбинированный гербицид Фомдос, КС, содержащий в своем составе 400 г/л флуфенацета и 100 г/л дифлюфеникана. Флуфенацет нарушает метаболизм жирных кислот и ингибирует деление клеток. Дифлюфеникан ингибирует биосинтез каротиноидов, нарушая процесс фотосинтеза.

Цель исследования – в полевых условиях определить биологическую и хозяйственную эффективность осеннего внесения гербицида Фомдос, КС на посевах озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в течение двух вегетационных периодов озимой пшеницы (2020–2021 и 2021–2022 гг.) в различающихся между собой по климатическим условиям регионах Российской Федерации: в Рязанской, Воронежской и Волгоградской областях. Опыты были заложены на следующих сортах пшеницы озимой мягкой (*Triticum aestivum* L.): Московская 39 (среднеспелый, период вегетации 305–308 дней, высота от 91 до 100 см, масса 1000 зерен – 34–42 г), Даная (среднеспелый, период вегетации 286–329 дней, высота от 86 до 112 см, масса 1000 зерен – 34–42 г), Безостая 100 (среднеранний, период вегетации 221–296 дней, высота от 91 до 100 см, масса 1000 зерен – 37–45 г), Антонина (среднеспелый,

период вегетации 219–288 дней, высота от 81 до 102 см, масса 1000 зерен – 39–47 г), Новоеоршовская (среднеспелый, период вегетации 264–298 дней, высота от 81 до 106 см, масса 1000 зерен – 36–45 г) («Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию», 2024).

Опыты были заложены в соответствии с «Методическими рекомендациями по проведению регистрационных испытаний гербицидов» (2020).

В Волгоградской области на опытном участке почва была темно-каштановой суглинистой с содержанием гумуса 2,6 %, pH = 6,9–7,1. Погодные условия региона в 2021 г. характеризовались засухой.

В Воронежской области почва представляла собой чернозем типичный выщелоченный с содержанием гумуса 4,8–5,0 %, pH = 5,5. Осенний период 2020 г. в регионе отличался засушливыми погодными условиями.

В Рязанской области опыты проводили на участке с темно-серой лесной почвой, тяжелосуглинистой, с содержанием гумуса 3,6–3,7 %, pH = 5,6–5,8. Летние периоды 2021 и 2022 гг. характеризовались повышенными температурами.

Посев осуществляли рядовым способом сеялкой СЗ-3,6. На участках, отведенных под проведение опытов, выделялись делянки площадью 25–30 м². Располагали делянки по площади опытного участка рендомизированно; каждый вариант был представлен 4-мя повторностями. Схема опыта предусматривала три варианта с разными нормами применения гербицида Фомдос, КС (0,4; 0,6 и 0,8 л/га), а также контрольный вариант без внесения гербицидов. Обработку посевов пшеницы озимой проводили осенью в фазу кущения культуры. Для проведения обработки использовали ранцевые опрыскиватели марок «Резистент 3610», «Solo-425» и «Агротоп». Расход рабочей жидкости находился в пределах 2,5–3,0 л/100 м².

Учетные мероприятия, при которых подсчитывалось количество сорных растений, а также определялась их сырая масса, выполняли при помощи 4-х рамок площадью 0,25 м² каждая в следующие сроки: а) осенью (перед внесением гербицидов, через две недели и через месяц после обработки); б) весной, при возобновлении вегетации растений; в) перед проведением уборки урожая. Определение эффективности проведения защитных мероприятий выполняли по следующей формуле:

$$E = (A - B) / A \cdot 100,$$

где E – эффективность химической обработки, %; A – количество сорных растений в контрольном варианте, экз./м²; B – количество сорных растений в варианте с гербицидом, экз./м².

Уборку урожая проводили ручным способом с учетной площади 1 м² на каждой делянке

опыта. Обработку полученных результатов исследований выполняли при помощи прикладной программы Excel с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с расчетом НСР₀₅.

Результаты и их обсуждение. В Рязанской области в оба года проведения исследований перед обработкой в посевах озимой пшеницы насчитывалось 47–49 экз./м² сорных растений. Преобладали виды из группы малолетних двудольных сорных растений – подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.) и фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.). Первые два вида в момент обработки находились в фазах от 2 до 4 настоящих листьев, а растения фиалки полевой – в фазе 1–2-й мутовки. Кроме них, на опытном участке в фазах от 2 до 4 листьев также встречались растения метлицы обыкновенной (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) – представителя группы малолетних злаковых сорных

растений. В период исследований использование 0,4 л/га гербицида Фомдос, КС приводило к среднему уровню защитного эффекта: снижение общего количества сорных растений не превышало 62,7 %, снижение массы малолетних двудольных и злаковых сорных растений – 67,6 %. В варианте с применением 0,6 л/га изучаемого препарата наблюдалось заметное увеличение значений показателей эффективности: до 79,7 % – по снижению общего количества сорных растений, до 83,3 % – по снижению массы малолетних двудольных сорных растений, до 78,9 % – по снижению массы малолетних злаковых сорных растений. Внесение 0,8 л/га гербицида Фомдос, КС обеспечивало наивысший уровень контроля сорных растений: снижение их общего количества в этом варианте достигало 87,4 %, а снижение массы сорных растений обеих групп приближалось к 90 % (табл. 1).

Таблица 1. Биологическая эффективность гербицида Фомдос, КС (% снижения к необработанному контролю) в посевах пшеницы озимой (2020–2022 гг.)
Table 1. Biological efficiency of the herbicide Fomdos, SC (% reduction to the untreated control) in winter wheat crops (2020–2022)

Годы	Снижение общего количества сорных растений			Снижение массы					
				двудольных сорных растений			злаковых сорных растений		
	0,4 л/га	0,6 л/га	0,8 л/га	0,4 л/га	0,6 л/га	0,8 л/га	0,4 л/га	0,6 л/га	0,8 л/га
Рязанская область									
2020–2021	62,7	79,7	87,4	67,4	83,3	89,8	67,5	78,9	89,1
2021–2022	60,7	69,2	79,4	67,6	75,0	85,5	67,6	78,3	89,9
Воронежская область									
2020–2021	76,1	82,2	89,3	21,2	56,8	76,8	97,1	100	100
2021–2022	74,1	82,5	87,3	95,0	96,2	98,4	96,5	97,5	99,9
Волгоградская область									
2020–2021	90,2	96,0	97,7	93,0	98,0	98,8	—*	—	—
2021–2022	92,1	96,0	98,0	94,6	96,8	98,2	—	—	—

Примечание. * – в Волгоградской области злаковые сорные растения в посевах пшеницы озимой отсутствовали.

В Воронежской области в 2020 г. вследствие засушливых погодных условий осеннего периода на опытном участке в момент проведения обработки присутствовали лишь растения малолетнего злакового сорняка – метлицы обыкновенной, которые находились в ранних фазах развития (от 1 до 2 листьев). Использование изучаемого препарата вне зависимости от нормы его применения обеспечивало высокую степень (более 96,0%) снижения массы малолетних злаковых сорных растений. Всходы малолетних двудольных сорных растений в связи с засухой появились лишь весной следующего года. При этом в состав данной группы сорных растений входили относительно невосприимчивые к гербицидной обработке виды – марь белая (*Chenopodium album* L.) и мелколепестник канадский (*Erigeron canadensis* L.), что оказало существенное влияние на эффективность применения гербицида Фомдос, КС. В частности, уменьшение массы малолетних двудольных сорных растений при использовании препарата в максимальной норме применения

не превышало 76,8 %, а при использовании минимальной нормы применения составляло лишь 21,2 %. В 2021 г. погодные условия осеннего периода в целом не отличались от среднелетних значений и были благоприятны для роста и развития как малолетних злаковых, так и малолетних двудольных сорных растений. В ходе выполнения учета перед внесением гербицида было выявлено, что малолетние злаковые сорные растения находились в фазе первого листа, а малолетние двудольные сорные растения – в фазах семядолей – 4 настоящих листьев. Плотность сорных растений составляла 57,5 экз./м². В этих условиях использование изучаемого гербицида в нормах применения 0,4; 0,6 и 0,8 л/га приводило к высокоэффективному снижению массы обеих групп сорных растений (более чем на 95 %). Несколько слабее гербицид Фомдос, КС влиял на общее количество сорных растений (эффективность находилась в пределах 74,1–87,3 %) (табл. 1).

В Волгоградской области на опытном участке встречались только малолетние двудоль-

ные сорные растения. При этом один из видов данной группы сорных растений – пастушья сумка – встречался и в остальных областях, тогда как три других вида – четкоплодник нежный (*Chorispora tenella* (Pall.) DC.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.) и яснотка стеблеобъемлющая (*Lamium amplexicaule* L.) – были выявлены только в этом регионе. В момент проведения обработки все перечисленные виды сорных растений находились в фазе розетки, а их общее количество достигало 55 экз./м². Использование гербицида Фомдос, КС во всех нормах применения обеспечило высокий уровень защитного действия против данной группы сорных растений – 90,2–98,8 % (табл. 1).

Среди наиболее часто встречающихся видов из группы малолетних двудольных сорных растений наиболее высокую чувствительность к внесению изучаемого гербицида проявили растения пастушьей сумки: снижение количества сорных растений этого вида достигало 100 % в двух из трех областей (табл. 2). В условиях Рязанской области эффективный контроль (более 75 %) пастушьей сумки отмечался лишь в варианте с максимальной нормой применения гербицида Фомдос, КС. Растения подмаренника цепкого на 100 % уничтожались в Воронежской области. В Рязанской области, где засоренность контроля этим сорняком была сильнее, высокая степень его подавления (79,3–87,2 %) отмечена в вариантах с внесением повышенных норм изучаемого препарата (0,6 и 0,8 л/га). Снижение количества растений

фиалки полевой в двух областях ее произрастания было эффективным во всех вариантах с внесением гербицида Фомдос, КС (эффективность составляла 72,1–83,3 %).

Следует отметить чувствительность трех видов малолетних двудольных сорных растений, встречавшихся лишь в Волгоградской области, а именно ярутки полевой, яснотки стеблеобъемлющей и четкоплодника нежного. Средняя засоренность этими видами посевов в контроле в течение периода вегетации пшеницы озимой составляла: 12,2 экз./м²; 5,2 экз./м² и 23,3 экз./м². Использование изучаемого гербицида в нормах применения 0,4–0,8 л/га обеспечивало снижение засоренности этими видами на 89,0–100, 71,8–96,7 и 92,7–98,5 % соответственно.

Единственным представителем группы малолетних злаковых сорных растений была метлица обыкновенная. При этом важно отметить, что в Воронежской области, где в контроле отмечалось значительное количество растений данного вида (более 290 экз./м²), эффективность против него изучаемого препарата во всех нормах применения находилась на высоком уровне и составляла 84,2–93,1%. В условиях же Рязанской области, где растения метлицы обыкновенной встречались небольшими очагами (в среднем 15,6 экз./м²), эффективный контроль их численности (73,8–85,2%) достигался в вариантах с применением 0,6 и 0,8 л/га гербицида Фомдос, КС (табл. 2).

Таблица 2. Чувствительность отдельных видов сорных растений к гербициду Фомдос, КС (средние за 2020–2022 гг.)
Table 2. Sensitivity of individual weed species to the herbicide Fomdos, SC (mean in 2020–2022)

Нормы применения	Снижение количества отдельных видов сорных растений, % к контролю								
	пастушья сумка			фиалка полевая		подмаренник цепкий		метлица обыкновенная	
	Рязанская область	Воронежская область	Волгоградская область	Рязанская область	Воронежская область	Рязанская область	Воронежская область	Рязанская область	Воронежская область
0,4 л/га	58,5	100	100	72,1	74,5	66,8	100	57,9	84,2
0,6 л/га	66,1	100	99,0	78,6	77,1	79,3	100	73,8	91,4
0,8 л/га	77,2	100	100	76,0	83,3	87,2	100	85,2	93,1
Засоренность контроля, экз./м ²	7,8	1,7	13,0	7,8	60,0	19,0	1,6	15,6	291,2

В контрольном варианте в отсутствии обработок наибольшая урожайность пшеницы озимой была получена в Рязанской области на сортах Московская 39 и Даная – 3,93–4,05 т/га. В Воронежской области в связи с засушливыми условиями осеннего периода 2020 г., а также в Волгоградской области вследствие засухи в весенний период 2021 г. урожайность в контроле была крайне низкой (1,15 и 1,69 т/га соот-

ветственно). Снижение засоренности посевов во всех вариантах с применением гербицида Фомдос, КС позволило дополнительно сохранить от 0,12 до 0,99 т/га урожая зерна культуры в зависимости от региона и года исследования. При этом выявлена прямая зависимость между нормой применения препарата Фомдос, КС и его хозяйственной эффективностью (табл. 3).

**Таблица 3. Урожайность озимой пшеницы (т/га)
после обработки посевов гербицидом Фомдос, КС (2020–2022 гг.)
Table 3. Winter wheat productivity (t/ha)
after treatment with the herbicide Fomdos, SC (2020–2022)**

Варианты опыта	Рязанская область		Воронежская область		Волгоградская область	
	Московская 39 2020–2021 гг.	Даная, 2021–2022 гг.	Безостая 100 2020–2021 гг.	Антонина 2021–2022 гг.	Новоершовская 2020–2021 гг.	Новоершовская, 2021–2022 гг.
0,4 л/га	4,21	4,62	1,96	3,39	1,81	3,20
0,6 л/га	4,30	4,70	2,08	3,49	1,83	3,19
0,8 л/га	4,39	4,74	2,14	3,53	1,82	3,21
Контроль	3,93	4,05	1,15	3,04	1,69	3,02
НСР ₀₅	0,04	0,05	0,25	0,18	0,03	0,03

Выводы. Полученные в ходе исследования результаты позволили констатировать, что использование нового комбинированного гербицида Фомдос, КС в осенний период обеспечивало высокий уровень контроля сорных растений в посевах пшеницы озимой. В варианте с максимальной нормой его применения (0,8 л/га) снижение общего количества сорных растений составляло 79,4–98,0 %, снижение массы малолетних двудольных сорных растений – 76,8–98,8 %, снижение массы малолетних злаковых сорных растений – 89,1–100 %. Использование изучаемого препарата в нормах применения 0,4–0,8 л/га было высокоэффективным в борьбе с наиболее часто встречающимися в опытах видами из группы малолетних двудольных сорных растений (пастушья сумка, подмаренника цепкого, фи-

алки полевой), а также малолетним злаковым видом – метлицей обыкновенной. Во всех вариантах с изучаемым гербицидом были получены статистически достоверные прибавки урожая культуры по сравнению с контролем (от 0,12 до 0,99 т/га в зависимости от региона и года исследований).

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания FGEU-2025-0006 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений».

Благодарности. Авторы благодарят всех исследователей, учувствовавших в проведении полевых мелкоделяночных опытов: А. И. Силаева, Б. Г. Стаченко, Е. И. Хрюкину, М. Н. Захарову и др.

Библиографический список

1. Голубев А. С., Долженко В. И. Осеннее внесение метрибузина для защиты озимой пшеницы от двудольных и злаковых сорных растений // Земледелие. 2020. № 6. С. 38–40. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10609
2. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 620 с.
3. Загорюлько А. В., Кравцов А. М., Нецадим Н. Н., Василько В. П., Амини Х. Формирование урожайности озимой пшеницы под влиянием средств химизации земледелия и способов основной обработки почвы на черноземе выщелоченном // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 110. С. 119–132. DOI: 10.21515/1999-1703-110-119-132
4. Захарова М. Н., Рожкова Л. В. Осеннее внесение гербицидов в посевы озимой пшеницы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 27–29. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/27-29
5. Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. СПб.: ВИЗР, 2020. 80 с.
6. Нефедьева Е. Э., Белопухов С. Л., Ермошина Е. С. Классификационный анализ гербицидов, разрешенных к применению в 2018 году // АгроЭкоИнфо. 2020. № 2(40). С. 1–11.
7. Савва А. П., Тележко Т. Н., Суворова В. А. Комбинированный гербицид Велосити Пауэр, ВДГ для защиты посевов озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 5. С. 40–44. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10506
8. Сорока С. В., Сорока Л. И., Пестерева А. С. Изучение эффективности комбинированных гербицидов в посевах пшеницы озимой с целью предупреждения появления резистентности сорных растений в Беларуси // Защита растений. 2024. № 48. С. 35–43.
9. Тарчоков Х. Ш., Сарбашева А. И., Матаева О. Х. Эффективность гербицидов в борьбе с сорняками на посевах озимой пшеницы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 77–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-77-83
10. Фетюхин И. В., Баранов А. А. Интегрированная защита озимой пшеницы от сорняков // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1(61). С. 6–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-6-9
11. Якимович Е. А., Сорока Л. И. Особенности применения почвенных гербицидов на озимых зерновых // Наше сельское хозяйство. 2022. № 7(279). С. 4–10.

References

1. Golubev A. S., Dolzhenko V. I. Osennee vnesenie metribuzina dlya zashchity ozimoi pshenitsy ot dvudol'nykh i zlakovykh sornykh rastenii [Autumn application of metribuzin to protect winter wheat from dicotyledonous and cereal weeds] // Zemledelie. 2020. № 6. S. 38–40. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10609

2. Gosudarstvennyi reestr sortov i gibridov sel'skokhozyaistvennykh rastenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu: ofitsial'noe izdanie [State register of varieties and hybrids of agricultural plants approved for use: official publication]. M.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2024. 620 s.

3. Zagorul'ko A. V., Kravtsov A. M., Neshchadim N. N., Vasil'ko V. P., Amini Kh. Formirovanie urozhnosti ozimoi pshenitsy pod vliyaniem sredstv khimizatsii zemledeliya i sposobov osnovnoi obrabotki pochvy na chernozeme vyshchelochennom [Formation of winter wheat productivity under the effect of agricultural chemicalization and primary soil cultivation methods on leached blackearth] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. № 110. S. 119–132. DOI: 10.21515/1999-1703-110-119-132

4. Zakharova M. N., Rozhkova L. V. Osennee vnesenie gerbitsidov v posevy ozimoi pshenitsy [Autumn application of herbicides to winter wheat crops] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2020. № 5. S. 27–29. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/27-29

5. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu registratsionnykh ispytaniy gerbitsidov [Methodical recommendations for conducting registration tests of herbicides]. SPb.: VIZR, 2020. 80 s.

6. Nefed'eva E. E., Belopukhov S. L., Ermoshina E. S. Klassifikatsionnyi analiz gerbitsidov, razreshennykh k primeneniyu v 2018 godu [Classification analysis of herbicides approved for use in 2018] // AgroEkoInfo. 2020. № 2(40). S. 1–11.

7. Savva A. P., Telezhko T. N., Suvorova V. A. Kombinirovannyi gerbitsid Velositi Pauer, VDG dlya zashchity posevov ozimoi pshenitsy [Combined herbicide Velocity Power, VDG to protect winter wheat crops] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021. T. 35, № 5. S. 40–44. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10506

8. Soroka S. V., Soroka L. I., Pestereva A. S. Izuchenie effektivnosti kombinirovannykh gerbitsidov v posevakh pshenitsy ozimoi s tsel'yu preduprezhdeniya poyavleniya rezistentnosti sornykh rastenii v Belarusi [The study of the efficiency of combined herbicides in winter wheat crops to prevent weed resistance in Belarus] // Zashchita rastenii. 2024. № 48. S. 35–43.

9. Tarchokov Kh. Sh., Sarbasheva A. I., Mataeva O. Kh. Effektivnost' gerbitsidov v bor'be s sornyakami na posevakh ozimoi pshenitsy v usloviyakh stepnoi zony Kabardino-Balkarii [The efficiency of herbicides in weed control in winter wheat crops in the steppe part of Kabardino-Balkaria] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 77–83. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-77-83

10. Fetyukhin I. V., Baranov A. A. Integrirovannaya zashchita ozimoi pshenitsy ot sornyakov [Integrated protection of winter wheat from weeds] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 1(61). S. 6–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-6-9

11. Yakimovich E. A., Soroka L. I. Osobennosti primeneniya pochvennykh gerbitsidov na ozimyykh zernovykh [Features of the use of soil herbicides on winter grain crops] // Nashe sel'skoe khozyaistvo. 2022. № 7(279). S. 4–10.

Поступила: 15.05.25; доработана после рецензирования: 24.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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. Голубев А. С. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Ткач А. С. – подготовка опыта, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРОЦЕСС ФОТОСИНТЕЗА И УРОЖАЙНОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ АЗОТНОГО И ФОСФОРНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Ф. М. Казиметова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории семеноводства зерновых и кормовых культур, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0197-976X;

Н. Р. Магомедов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории семеноводства зерновых и кормовых культур, ORCID ID: 0000-0003-4393-3321;

А. А. Абдуллаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства зерновых и кормовых культур, ORCID ID: 0000-0001-7653-7531;

Ж. Н. Абдуллаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории семеноводства зерновых и кормовых культур, ORCID ID: 0000-0002-9389647X
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр»,
367014, Республика Дагестан, Махачкала, ул. Научный городок, ул. А. Шахбанова, д. 30;
e-mail: niva1956@mail.ru

Большую роль в увеличении урожайности озимой мягкой пшеницы играют новые сорта, которые формируют высокую продуктивность от научно обоснованного применения удобрений и лучше адаптированы для конкретной местности, где они впоследствии будут размножены. Исследования проводили в период с 2022 по 2024 год на лугово-каштановой тяжелосуглинистой почве Терско-Сулакской подпровинции Дагестана в условиях орошения. Изучалось влияние различных доз азотных и фосфорных удобрений на процесс фотосинтеза у перспективных сортов озимой пшеницы. Дозы удобрений – $N_{96}P_{66}$, $N_{138}P_{91}$, $N_{180}P_{117}$ – изучались на пяти сортах озимой пшеницы селекции «НЦЗ имени П. П. Лукьяненко»: Классика, Тимирязевка 150, Стиль 18, Бумба, Еланчик. Выявлены сорта с наибольшей интенсивностью прохождения процесса фотосинтеза – Тимирязевка 150 и Бумба. Максимальную площадь листовой поверхности в среднем за три года показал сорт Тимирязевка 150 с площадью 44,2 тыс. m^2/ga и сорт Бумба со значением 43,7 тыс. m^2/ga . Фотосинтетический потенциал у этих сортов был на уровне 2,47 и 2,45 млн. m^2/ga . дней соответственно. Наиболее высокие показатели по чистой продуктивности фотосинтеза составили 4,4 $г/м^2$ сут. у сорта Тимирязевка 150 и по сорту Бумба – 4,3 $г/м^2$ сут. при внесении дозы минеральных удобрений $N_{180}P_{117}$ и лучшие показатели по урожайности зерна в среднем за три года – 6,71 и 6,50 т/га соответственно – в варианте на получение планируемой урожайности 6,0 т/га.

Ключевые слова: озимая пшеница, минеральные удобрения, доза, листовая поверхность, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, урожайность.

Для цитирования: Казиметова Ф. М., Магомедов Н. Р., Абдуллаев А. А., Абдулаев Ж. Н. Процесс фотосинтеза и урожайность перспективных сортов озимой мягкой пшеницы при разных уровнях азотного и фосфорного питания в условиях орошения // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 76–82. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-76-82.



THE PROCESS OF PHOTOSYNTHESIS AND PRODUCTIVITY OF PROMISING WINTER COMMON WHEAT VARIETIES AT DIFFERENT NITROGEN AND PHOSPHORUS NUTRITION LEVELS UNDER IRRIGATION

F. M. Kazimetova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for seed production of grain and feed crops, ozemledeliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0197-976X;

N. R. Magomedov, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for seed production of grain and feed crops, ORCID ID: 0000-0003-4393-3321;

A. A. Abdullaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for seed production of grain and feed crops, ORCID ID: 0000-0001-7653-7531;

Zh. N. Abdullaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for seed production of grain and feed crops, ORCID ID: 0000-0002-9389647X

FSBSI "Federal Agrarian Research Center of the Republic of Dagestan",
367014, Republic of Dagestan, Makhachkala, Nauchny Gorodok Str., A. Shakhbanov Str., 30;
e-mail: niva1956@mail.ru

New varieties that form large productivity due to scientifically based application of fertilizers and are better adapted to the specific area where they will subsequently be propagated are of great importance in improving winter common wheat productivity. The current study was conducted from 2022 to 2024, on meadow-chestnut heavy loamy soil of the Tersko-Sulak subprovince of Dagestan under irrigation. There has been studied the effect of different doses of nitrogen and phosphorus fertilizers on photosynthesis in promising winter wheat varieties. There have been studied fertilizer doses $N_{96}P_{66}$, $N_{138}P_{91}$, $N_{180}P_{117}$ on five winter wheat varieties 'Klassika', 'Timiryazevka 150', 'Stil 18', 'Bumba', 'Elanchik' developed in the P.P. Lukyanenko National Grain Center. There have been identified the varieties

'Timiryazevka 150' and 'Bumba' with the highest intensity of the photosynthesis process. The maximum foliar surface area was shown by the variety 'Timiryazevka 150' with 44.2 thousand m²/ha and the variety 'Bumba' with 43.7 thousand m²/ha. The photosynthetic potential of these varieties was at the level of 2.47 and 2.45 million m²/ha days, respectively. The highest indicators for net productivity of photosynthesis were 4.4 g/m² a day for the variety 'Timiryazevka 150' and 4.3 g/m² a day for the variety 'Bumba' with the application of a dose of mineral fertilizers N₁₈₀P₁₁₇, and the best indicators for grain productivity with 6.71 t/ha and 6.50 t/ha, respectively, in the variant for obtaining the planned productivity of 6.0 t/ha.

Keywords: winter wheat, mineral fertilizers, dose, foliar surface, photosynthetic potential, net productivity of photosynthesis, productivity.

Введение. Наибольший удельный вес в структуре посевных площадей на орошаемых землях Дагестана приходится на зерновые культуры, которые занимают до 58 %. Озимая пшеница ежегодно выращивается на площади более 80 тысяч гектаров. В засушливых условиях юга перспективные сорта озимой пшеницы наиболее полно проявляют свой биоклиматический потенциал при оптимизации уровня минерального питания на всех этапах вегетации и позволяют получать стабильные показатели по урожайности высококачественной продукции зерна (Казиев и др., 2023).

При хорошем развитии еще с осени озимые хлеба лучше, чем яровые, используют влагу, накопленную в осенний и зимний периоды. Весной они быстро наращивают вегетативную массу, меньше страдают от весенних засух. Более раннее созревание часто ограждает их от суховея, поэтому они более продуктивны, чем яровые, и по этой причине имеют важное значение в нашем регионе (Фадеева и др., 2024; Сандухадзе и др., 2021).

Эффективность агротехнических приемов, используемых для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, определяется основным процессом, протекающим в растениях, – фотосинтезом. Фотосинтез – это серия биохимических процессов, в которых фотоны солнечного света взаимодействуют с множеством белков, что приводит к созданию устойчивых и богатых энергией веществ, самым известным из которых является глюкоза (Ионова и др., 2020).

Вопрос принятия оптимальных решений производителями по рациональному сочетанию реакции сортов на различные дозы удобрений имеет определяющее значение для формирования высокого урожая возделываемой культуры, что является актуальным в условиях широкого внедрения изучаемых технологий (Хакимов, 2023).

Продуктивность посевов определяется длительностью функционирования фотосинтетического потенциала (ФП), каждые 1000 ед. фотосинтетического потенциала посевов формируют 2–3 кг зерна. На избыточном агрофоне эти величины уменьшаются, что свидетельствует об ухудшении баланса углерода в результате снижения показателей фотосинтеза. Рост урожайности селекционных сортов озимой пшеницы обусловлен преимущественно ФП, главным образом верхних листьев, а также долей ФП, в период «колошение–спелость». Лист, как основной орган фотосинтеза, производит до 95 % органических соединений

в растениях. Здесь образуются первичные продукты фотосинтеза, которые затем преобразуются и транспортируются по всему растению (Орлов и др., 2009).

Оптимальным считается фотосинтез, адаптирующийся к использованию с максимальной эффективностью тех условий, которые складываются в посевах или создаются человеком с целью повышения продуктивности. Компонентами этой системы должны быть растения, формирующие фитоценоз с наивысшей для данных условий фотосинтетической продуктивностью (Денисов и Моторин, 2021).

Величина урожая растений определяется в большой степени показателями фотосинтетической деятельности, формирующей посевы при возделывании с применением минеральных удобрений. Минеральные удобрения способствуют увеличению площади листовой поверхности, уровня фотосинтетического потенциала, коэффициента использования ФАР и чистой продуктивности фотосинтеза (Дуктова, 2014).

Цель исследований – изучить влияние доз азотных и фосфорных удобрений на процесс фотосинтеза в растениях озимой пшеницы и урожайность перспективных сортов селекции НЦЗ имени П. П. Лукьяненко в условиях лугово-каштановой тяжелосуглинистой почвы при орошении Терско-Сулакской подпровинции Дагестана.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили на опытной станции имени Кирова – филиале Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан в стационарном опыте в 2022–2024 годах. Почва опытного участка лугово-каштановая тяжелосуглинистая. Содержание гумуса по Тюрину 2,5 %, общего азота – 0,21 %, подвижного фосфора по Мачигину – 16 мг/кг, обменного калия по Протасову – 380 мг/кг почвы, pH – 7,2, плотность пахотного слоя почвы – 1,28 г/см³.

Климат территории Терско-Сулакской равнины характеризуется теплой зимой и более засушливым летом. Среднегодовая температура воздуха 11,0 °С. Продолжительность солнечного сияния в течение года, теплый период – 79,5 %, холодный период – 20,5 %, сроки перехода средних суточных температур воздуха через 0 градусов – первая декада марта и вторая декада декабря. По средним многолетним данным в течение года выпадает 340 мм осадков. Гидротермический коэффициент в апреле равен 0,8; мае–июне – 0,6; июле–октябре – 0,4–0,5. Летом отмечаются продол-

жительные засухи. Относительная влажность воздуха в мае – августе равна 40–43 %.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Площадь листовой поверхности определяли методом «высечек», накопление сухого вещества – весовым методом. Результаты исследований подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа (Доспехов, 2014).

Влагозарядковый полив проводили в августе перед посевом озимой пшеницы из расчета 1200–1500 м³/га согласно зональным рекомендациям, а вегетационные поливы – в фазы выхода в трубку и колошения с нормой 700–800 м³/га при нижнем пороге влажности почвы в слое 0–60 см 70–75 % НВ (Гасанов и др., 2012).

Посев проводили в оптимальные для региона сроки посева озимых зерновых культур – 15 октября. Объектом исследований являлись сорта озимой мягкой пшеницы Классика, Тимирязевка 150, Стил 18, Бумба, Еланчик селекции Национального центра зерна им. П. П. Лукьяненко (г. Краснодар), внесенные в Государственный реестр селекционных достижений и допущенные к использованию в Северо-Кавказском регионе. Сорт озимой мягкой пшеницы Классика был взят в качестве стандарта. Норма высева – 5,0 млн всхожих семян на 1 га, предшественник – подсолнечник, площадь делянки – 108 м², учетной – 100,8 м², повторность трехкратная, расположение делянок систематическое.

Для предотвращения потерь питательных элементов из удобрений их вносили дробно, частями в течение всей вегетации – суперфосфат двойной (при посеве), аммиачная селитра (ранневесенняя подкормка), мочевины (в фазу выхода в трубку).

При планируемой урожайности 4,0 т/га вносили дозу удобрений N₉₆P₆₆, урожайно-

сти 5,0 т/га – N₁₃₈P₉₁, урожайности 6,0 т/га – N₁₈₀P₁₁₇.

Для защиты посевов озимой пшеницы от сорняков, болезней и вредителей применяли гербициды Линтур (0,18 кг/га) и Пума Супер (0,8 кг/га), фунгицид Ферзим (0,5 л/га), инсектициды Цитрон (0,15 л/га), Карбофос (0,7 л/га).

Результаты и их обсуждение. Площадь листовой поверхности озимой пшеницы является показателем степени использования этой культурой климатических, агротехнических, почвенных ресурсов. Индекс листовой поверхности, равный 4–5 м²/м², для большинства зерновых культур считается оптимальным (Шейн, 2014; Косенко, 2023).

От размера листового аппарата растений и длительности его работы зависит урожайность. Все процессы метаболизма, происходящие в растениях, взаимосвязаны между собой. Следовательно, при возделывании каких-либо сельскохозяйственных культур необходимо предпринимать такие меры, которые оказывают наибольшее действие на увеличение ассимилирующей поверхности и длительности периода, благоприятного для фотосинтеза.

Площадь листьев определяли по формуле:

$$S = Mл \cdot a \cdot \Pi^2;$$

$$Mв \cdot N \cdot 4 \cdot 10000,$$

где S – площадь листьев одного растения, м²; Mл – масса листьев в пробе, г; Mв – масса высечек, г; а – количество высечек, шт.; N – количество растений в пробе, шт.; Д – диаметр сверла, см; П – математическая константа = 3,14.

В наших исследованиях максимальную площадь листовой поверхности сформировал сорт Тимирязевка 150 при дозах минеральных удобрений N₁₈₀P₁₁₇ – 44,2 тыс. м²/га (табл. 1).

Таблица 1. Фотосинтетическая деятельность посевов сортов озимой пшеницы в зависимости от доз внесения минеральных удобрений (2022–2024 гг.)

Table 1. Photosynthetic activity of winter wheat varieties depending on the doses of mineral fertilizers (2022–2024)

Сорт	Расчетные нормы, удобрений кг д. в./га	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	Фотосинтетический потенциал посевов, млн м ² /га, дней	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² , сут.
Классика, st	N ₉₆ P ₆₆	36,2	1,84	3,6
	N ₁₃₈ P ₉₁	38,0	1,92	4,1
	N ₁₈₀ P ₁₁₇	40,2	2,02	4,1
Тимирязевка 150	N ₉₆ P ₆₆	41,6	2,21	4,2
	N ₁₃₈ P ₉₁	42,4	2,32	4,4
	N ₁₈₀ P ₁₁₇	44,2	2,47	4,4
Стил 18	N ₉₆ P ₆₆	35,8	1,86	3,6
	N ₁₃₈ P ₉₁	38,2	2,10	3,8
	N ₁₈₀ P ₁₁₇	40,8	2,38	4,3
Бумба	N ₉₆ P ₆₆	41,2	2,16	4,1
	N ₁₃₈ P ₉₁	42,0	2,28	4,3
	N ₁₈₀ P ₁₁₇	43,7	2,45	4,3
Еланчик	N ₉₆ P ₆₆	35,6	1,78	3,5
	N ₁₃₈ P ₉₁	37,8	1,90	3,8
	N ₁₈₀ P ₁₁₇	39,8	2,00	4,1

При внесении $N_{96}P_{66}$ и $N_{138}P_{91}$ площадь листовой поверхности была ниже максимальной на 2,6 и 1,8 тыс. $m^2/га$ соответственно.

На втором месте по этому показателю оказался сорт Бумба, у которого площадь листовой поверхности была в пределах 41,2–43,7 тыс. $m^2/га$ в зависимости от доз минеральных удобрений.

Относительно низкие показатели по площади листовой поверхности были отмечены на посевах сорта Еланчик и Стил 18.

Особенно интенсивно листовая поверхность у растений формируется в то время, когда отмечается наибольший приток фотосинтетической активной радиации (ФАР). Площадь листовой поверхности озимой пшеницы максимальной величины достигает в межфазный период «колошение – налив зерна» (Шестакова, 2022).

Кроме площади листовой поверхности, продуктивность растений определяется также фотосинтетическим потенциалом и чистой продуктивностью фотосинтеза. Фотосинтетический потенциал (ФПП) характеризует сумму ежесуточных показателей площади листьев на 1 га и выражается в млн $m^2/га$ дней (Бильдиева и др., 2021).

В наших опытах в зависимости от доз минеральных удобрений ФПП в среднем за три года колебался от 1,84 до 2,46 млн $m^2/га$ дней. Наибольшие значения ФПП у изученных нами сортов были отмечены при максимальных дозах минеральных удобрений. У сорта Классика разница в размере ФПП в зависимости от доз удобрений составила 1,0 и 1,8 млн m^2 дней. У наиболее выделившихся по урожайности сортов Тимирязевка 150 и Бумба эта разница была в пределах 0,94–1,25 и 0,16–0,28 млн $m^2/га$ дней соответственно. Таким образом, минеральные удобрения способствуют повышению фотосинтетического потенциала посевов.

Производительность фотосинтетического аппарата посева определяется таким показателем, как чистая продуктивность фотосинтеза, рассчитываемого отношением общего урожая сухой массы к величине фотосинтетического потенциала, выражается она в граммах сухого вещества, накапливаемого на 1 m^2 листьев за сутки.

В зависимости от сорта озимой пшеницы и доз минеральных удобрений чистая продуктивность в наших опытах в среднем за три года колебалась от 3,5 до 4,5 $г/м^2$ сутки.

Наибольшие значения этого показателя отмечены у сортов Тимирязевка 150 (4,2–4,5 $г/м^2$ сутки) и Бумба (4,1–4,4 $г/м^2$ сутки).

С повышением доз минеральных удобрений чистая продуктивность фотосинтеза также росла у всех изученных сортов.

Значение таких элементов, как азот и фосфор, в жизнедеятельности не только высших растений, но и простейших организмов трудно переоценить. Они входят в состав всех белков протоплазмы клеток, фосфор при этом бывает в минеральной и органической формах. Наиболее важную роль в растениях играют органические соединения фосфора в составе нуклеиновых кислот, находящихся в любой растительной клетке.

Применение удобрений позволяет незначительно уменьшить фотоингибирование (Софронова и Чепалов, 2011), дополнительно оказывая положительное влияние на газообмен в листьях, усиливая дневную ассимиляцию углекислого газа на 20–25 %, отмечен также положительный эффект удобрения на увеличение длины листа и размер корневой системы.

Изучение динамики накопления сухого вещества растениями сортов озимой пшеницы имеет важное значение при определении влияния доз удобрений на продуктивность. Наибольшее накопление сухого вещества, по нашим наблюдениям, происходит в фазах «выход в трубку» – «колошение» и зависит от доз применяемых удобрений.

Влияние азотных и фосфорных удобрений на продуктивность сортов озимой пшеницы, как и на процесс фотосинтеза, четко прослеживается.

Так, в среднем за три года все сорта наибольшие урожаи сформировали при внесении максимальных доз азотных и фосфорных удобрений – $N_{180}P_{117}$. Наилучшие показатели показали сорт Тимирязевка 150 и Бумба.

Разница в урожайности сорта Тимирязевка 150 при внесении максимальной и минимальной доз минеральных удобрений в среднем за три года составила 1,88 т/га, а у сорта Бумба – 1,73 т/га зерна.

При использовании различных комбинаций азотных и фосфорных удобрений в рекомендуемых дозах для получения урожаев в 4,0, 5,0 и 6,0 т/га исследуемые сорта озимой пшеницы продемонстрировали более высокую урожайность, чем было запланировано, что свидетельствует об эффективности применения удобрений (табл. 2).

Таблица 2. Динамика урожайности перспективных сортов озимой пшеницы на различных уровнях минерального питания, т/га
Table 2. Dynamics of productivity of promising winter wheat varieties at different mineral nutrition levels, t/ha

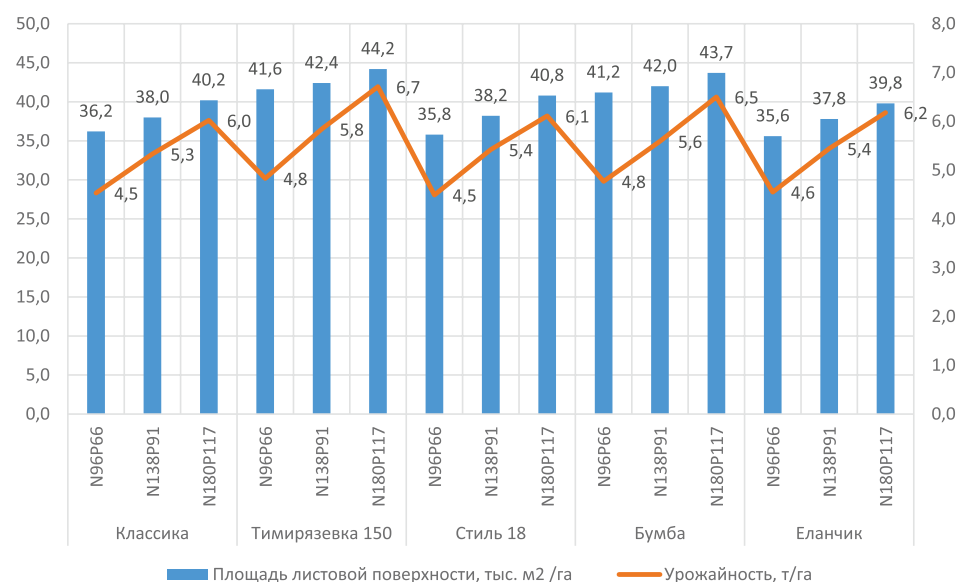
Сорт (фактор А)	Дозы минеральных удобрений, кг д. в. (фактор В)											
	$N_{96}P_{66}$				$N_{130}P_{90}$				$N_{180}P_{117}$			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Классика, st	4,56	4,32	4,72	4,52	5,38	5,12	5,48	5,33	6,11	5,64	6,32	6,02
Тимирязевка 150	4,68	4,44	5,37	4,83	5,64	5,41	5,46	5,84	6,56	6,32	7,26	6,71
Стил 18	4,54	4,30	4,62	4,49	5,43	5,24	5,58	5,42	6,18	5,86	6,28	6,11

Продолжение табл. 2

Сорт (фактор А)	Дозы минеральных удобрений, кг д. в. (фактор В)											
	$N_{96}P_{66}$				$N_{130}P_{90}$				$N_{180}P_{117}$			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Бумба	4,72	4,50	5,10	4,77	5,56	5,38	5,82	5,59	6,47	6,28	6,76	6,50
Еланчик	4,66	4,24	4,76	4,55	5,52	5,14	5,66	5,44	6,34	5,72	6,48	6,18
НСР ₀₅	0,18	0,16	0,17	–	0,20	0,18	0,21	–	0,22	0,19	0,20	–

На представленном графическом изображении наблюдается статистически значимая корреляция между объемом урожая озимой пшеницы и параметрами фотосинтетического процесса. В частности, данная зависимость

проявляется в изменении площади поверхности изучаемых сортов озимой пшеницы, что указывает на существенное влияние фотосинтетической активности на продуктивность агрокультуры (см. рисунок).



Зависимость урожайности сортов озимой пшеницы от площади листовой поверхности
Dependence of productivity of winter wheat varieties on foliar surface area

Чем больше площадь листовой поверхности растений, тем выше урожайность. Так, у наиболее выделившегося в наших условиях сорта озимой пшеницы Тимирязевка 150 при максимальной урожайности 6,71 т/га отмечена и наибольшая площадь листовой поверхности – 44,2 тыс. м²/га, у Бумбы при урожайности 6,5 т/га площадь листовой поверхности составила 43,7 тыс. м²/га. У остальных сортов эти показатели были ниже.

Установлена положительная корреляционная зависимость между урожайностью и показателями фотосинтетической деятельности (площади листовой поверхности) в фазу кущения, где линейный коэффициент корреляции по всем сортам составил $R = 0,69$ по формуле линейной корреляции Пирсона. Коэффициент показывает линейную взаимосвязь и принимает значения от -1 до +1. Это означает, что взаимосвязь между переменными данными является сильной положительной взаимосвязью.

Выводы. По результатам исследований лучшие показатели площади листо-

вой поверхности (44,2 и 43,7 тыс. м²/га), фотосинтетического потенциала посевов (2,47 и 2,45 млн м²/га день) и чистой продуктивности фотосинтеза (4,4 и 4,3 г/м² сутки) достигнуты по сортам Тимирязевка 150 и Бумба в варианте внесения расчетной дозы минеральных удобрений $N_{180}P_{117}$ на получение планируемой урожайности 6,0 т/га.

Изучаемые сорта озимой пшеницы обеспечили планируемую урожайность зерна по всем расчетным дозам удобрений. Лучшие показатели по урожайности зерна в среднем за три года обеспечили сорта Тимирязевка 150 и Бумба с показателями 6,71 и 6,50 т/га в варианте внесения расчетной дозы минеральных удобрений $N_{180}P_{117}$ на получение планируемой урожайности 6,0 т/га.

Относительно низкие урожаи зерна по расчетным дозам удобрений в аналогичном варианте обеспечили (в среднем за три года) сорта Классика – 6,02 т/га, Стиль 18 – 6,11 т/га, Еланчик – 6,18 т/га.

Библиографический список

1. Бильдиева Е. А., Ерошенко Ф. В., Гаджиумаров Р. Г., Епифанова Р. Ф. Фотосинтетическая продуктивность озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 14–17. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp14-17
2. Гасанов Г. Н., Магомедов Н. Р., Абдуллаев Ж. Н. Влияние приемов обработки каштановой почвы на продуктивность звена севооборота «познивная культура–озимая пшеница» в Приморской подпровинции Дагестана // Аграрная наука. 2012. № 3. С. 9–12.
3. Денисов А. А., Моторин А. С. Особенности формирования фитоценоза многолетних трав на Крайнем Севере // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 17–25. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-17-25
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Книга по требованию, 2014. 351 с.
5. Дуктова Н. А. Параметры фотосинтетической деятельности сортообразцов яровой твердой пшеницы // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4(95). С. 6–11.
6. Ионова Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 23–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27
7. Казиев М.-Р. А., Магомедов Н. Р., Магомедов Н. Н. Продуктивность перспективных сортов озимой пшеницы при выращивании на планируемую урожайность // Плодородие. 2023. № 3. С. 71–73. DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-71-73
8. Косенко С. В. Связь листовой поверхности различных по скороспелости сортов озимой пшеницы с продуктивностью в условиях Поволжья // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 2(192). С. 168–170. DOI: 10.55186/25876740.2023.66.2.168
9. Орлов А. Н., Ткачук О. А., Павликова Е. В. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 22(1). С. 12–15.
10. 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(39). С. 17–22. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-17-22
11. Софронова В. Е., Чепалов В. А. Фотоингибирование и изменения в пигментном составе побегов ерхедра моносперма при формировании морозоустойчивого состояния в условиях экстремального климата Якутии // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6.
12. Хакимов Ш. З. Влияние норм минеральных удобрений на урожайность сортов озимой пшеницы // Технические науки. 2023. № 11(116). С. 5–7. DOI: 10.32743/unitech.2023.116.11.16278
13. Фадеева И. Д., Курмакаев Ф. Ф., Саубанова Г. Р. Формирование качества зерна сортами озимой пшеницы // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 3(51) С. 41–47. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-41-47

References

1. Bil'dieva E. A., Eroshenko F. V., Gadzhumarov R. G., Epifanova R. F. Fotosinteticheskaya produktivnost' ozimoi pshenitsy, vozdeleyvaemoy po tekhnologii No-till [Photosynthetic productivity of winter wheat grown using no-till technology] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2021. № 3. S. 14–17. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp14-17
2. Gasanov G. N., Magomedov N. R., Abdullaev Zh. N. Vliyanie priemov obrabotki kashtanovoi pochvy na produktivnost' zvena sevooborota «pozhnivnaya kul'tura–ozimaya pshenitsa» v Primorskoj podprovintsii Dagestana [The effect of chestnut soil cultivation methods on productivity of the crop rotation link “stubble crop – winter wheat” in the Primorsky sub-province of Dagestan] // Agrarnaya nauka. 2012. № 3. S. 9–12.
3. Denisov A. A., Motorin A. S. Osobennosti formirovaniya fitotsenoza mnogoletnikh trav na Krainem Severe [Features of the formation of perennial grass phytocenosis in the Far North] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 2. S. 17–25. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-17-25
4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Kniga po trebovaniyu, 2014. 351 s.
5. Duktova N. A. Parametry fotosinteticheskoi deyatel'nosti sortoobraztsov yarovoi tverdoi pshenitsy [Parameters of photosynthetic activity of spring durum wheat varieties] // Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii. 2014. № 4(95). S. 6–11.
6. Ionova E. V., Gaze V. L., Likhovidova V. A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' i dinamika nakopleniya sukhoy massy rastenii ozimoi myagkoi pshenitsy v zavisimosti ot uslovii vyrashchivaniya [Photosynthetic activity and dynamics of dry mass accumulation of winter common wheat plants depending on growing conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 1(67). S. 23–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27
7. Kaziev M.-R. A., Magomedov N. R., Magomedov N. N. Produktivnost' Perspektivnykh sortov ozimoi pshenitsy pri vyrashchivanii na planiruemyu urozhainost' [Productivity of promising winter wheat varieties when grown for the planned productivity] // Plodorodie. 2023. № 3. S. 71–73. DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-71-73
8. Kosenko S. V. Svyaz' listovoi poverkhnosti razlichnykh po skorospelosti sortov ozimoi pshenitsy s produktivnost'yu v usloviyakh Povolzh'ya [Correlation between leaf area of winter wheat varieties and productivity in the Volga region] // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2023. № 2(192). S. 168–170. DOI: 10.55186/25876740.2023.66.2.168

9. Orlov A. N., Tkachuk O. A., Pavlikova E. V. Sovershenstvovanie tekhnologii vzdelyvaniya yarovoi pshenitsy v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Improving spring wheat cultivation technology in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. № 22(1). S. 12–15.

10. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Urozhainost' sortov ozimoi myagkoi pshenitsy, elementy ee struktury i adaptivnye svoistva v usloviyakh Nechernozemnoi zony [Productivity of winter common wheat varieties, its structure elements and adaptive properties in the Non-Blackearth area] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. №3(39). S. 17–22. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-17-22

11. Sofronova V. E., Chepalov V. A. Fotoingibirovanie i izmeneniya v pigmentnom sostave pobegov ephedra monosperma pri formirovanii morozoustoichivogo sostoyaniya v usloviyakh ekstremal'nogo klimata Yakutii [Photoinhibition and changes in the pigment composition of ephedra monosperma shoots during the formation of a frost-resistant state in the extreme climate of Yakutia] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2011. № 6.

12. Khakimov Sh. Z. Vliyanie norm mineral'nykh udobrenii na urozhainost' sortov ozimoi pshenitsy [The effect of mineral fertilizer rates on productivity of winter wheat varieties] // Tekhnicheskie nauki. 2023. № 11(116). S. 5–7. DOI: 10.32743/unitech.2023.116.11.16278

13. Fadeeva I. D., Kurmakayev F. F., Saubanova G. R. Formirovanie kachestva zerna sortami ozimoi pshenitsy [Formation of grain quality by winter wheat varieties] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2024. № 3(51) S. 41–47. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-41-47

Поступила: 28.04.25; доработана после рецензирования: 24.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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. Казиметова Ф. М. – концептуализация исследования; Магомедов Н. Р. – анализ данных и их интерпретация; Абдуллаев А. А. – сбор и анализ данных; Абдуллаев Ж. Н. – подготовка опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ И СРОКОВ ПОСЕВА ПО ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL В ЗОНЕ НЕУСТОЙЧИВОГО УВЛАЖНЕНИЯ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Р. Г. Гаджиумаров, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологий возделывания с.-х. культур, erasul_agro@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4220-623X;
А. Н. Джандаров, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологий возделывания с.-х. культур, arsen-agro@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8576-2383;
А. В. Гоноченко, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории технологий возделывания с.-х. культур, gonochenko94@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-2049-6087;
С. А. Кузьминов, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории технологий возделывания с.-х. культур, kuzminovru@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0001-4090-5328;
В. К. Дридигер, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ВАК, руководитель научного направления по минимизации обработки почв и прямому посеву, dridiger.victor@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0510-2220
ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
(ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»),
356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49

Исследования проводили с целью установления возможности и целесообразности возделывания озимой пшеницы в системе прямого посева после подсолнечника и определения оптимального срока ее посева по различным предшественникам в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Полевые опыты проводили в Северо-Кавказском ФНАЦ в 2018–2021 гг. в севообороте горох – озимая пшеница – подсолнечник – озимая пшеница, в котором почва под все культуры в течение трех лет до и во время проведения опыта не обрабатывалась. Озимую пшеницу по предшественникам горох и подсолнечник сеяли от 15–20 сентября до 15–20 октября с интервалом 10 дней. Установлено, что при посеве 15–20 сентября растения озимой пшеницы по обоим предшественникам до наступления зимы формировали самую большую надземную массу и листовую поверхность с 2,5–3,2 шт. боковых побегов кущения. Перенос срока посева на более позднее время приводил к достоверному снижению биометрических показателей растений и снижению побегов кущения при посеве 25–30 сентября до 2,0–2,3 шт., 5–10 октября – до 1,4–1,5 шт., а посев 15–20 октября уходил в зиму в фазе шильца или одной пары листьев. Но весной озимая пшеница, посеянная в первой декаде октября, сформировала 1,8–2,3 боковых побега, в то время как растения сентябрьских сроков посева подвергались воздействию весенних заморозков, в результате которых происходили подмерзание листьев и частичная гибель побегов кущения. Самую большую надземную массу и ассимиляционный аппарат формировали посевы 5–10 октября, что обеспечило получение значимо самой высокой урожайности: по гороху – 4,39, по подсолнечнику – 3,31 т/га. Такая урожайность после подсолнечника обеспечила получение 23871 руб./га прибыли и 88,5 % рентабельности, что с учетом значительно более высокой экономической эффективности предшествующего подсолнечника вполне приемлемо.

Ключевые слова: система прямого посева, побеги кущения, вегетативная масса, площадь листьев, урожайность.

Для цитирования: Гаджиумаров Р. Г., Джандаров А. Н., Гоноченко А. В., Кузьминов С. А., Дридигер В. К. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от предшественников и сроков посева по технологии No-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 83–89. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-83-89.



WINTER WHEAT PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY DEPENDING ON FORECROPS AND SOWING DATES USING NO-TILL TECHNOLOGY IN THE UNSTABLE MOISTURE REGION OF THE STAVROPOL TERRITORY

R. G. Gadzhimarov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Agricultural Cultivation Technologies, rasul_agro@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-4220-623X;
A. N. Dzhandarov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Agricultural Cultivation Technologies, arsen-agro@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-8576-2383;
A. V. Gonochenko, post-graduate, Junior Researcher at the Laboratory of Agricultural Cultivation Technologies, gonochenko94@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-2049-6087;
S. A. Kuzminov, post-graduate, Junior Researcher at the Laboratory of Agricultural Cultivation Technologies, kuzminovru@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0001-4090-5328;
V. K. Dridiger, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the HAC, Head of the scientific department on minimizing soil cultivation and direct sowing, dridiger.victor@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0510-2220
FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Centre" (FSBSI North-Caucasus FARC),
356241, Stavropol Region, Михайловск, Nikonov Str., 49

The current study was conducted with the purpose to establish the possibility and feasibility of winter wheat cultivation in a direct seeding system after sunflower and to determine the optimal time for its sowing after various forecrops in the unstable moisture region of the Stavropol Territory. Field trials were conducted at the North-Caucasus FARC in 2018–2021 in the crop rotation peas – winter wheat – sunflower – winter wheat, in which the soil for all crops was not cultivated for three years before and during the trial. Winter wheat was sown after peas and sunflower from September 15–20 to October 15–20 with an interval of 10 days. There has been found that when sowing on September 15–20, winter wheat plants sown after both forecrops have formed the largest above-ground mass and foliar surface with 2.5–3.2 lateral tillering shoots before wintering. Postponing the sowing date to a later time has led to a reliable decrease in the biometric indicators of plants and a decrease in tillering shoots when sowing on September 25–30 to 2.0–2.3 pcs., on October 5–10 to 1.4–1.5 pcs., and sowing on October 15–20 went into winter with an awl phase or one pair of leaves. But in spring, winter wheat sown in the first ten days of October formed 1.8–2.3 lateral shoots, while the plants sown in September were damaged with spring frosts, which resulted in freezing of the leaves and partial death of the tillering shoots. The largest above-ground mass and assimilation apparatus have been formed by the crops from October 5–10, which ensured obtaining the significantly highest productivity of 4.39 t/ha after peas and 3.31 t/ha after sunflower. Such productivity after sunflower ensured obtaining the profit of 23,871 rubles/ha and 88.5 % of profitability, which was quite good, taking into account significantly higher economic efficiency of the preceding sunflower.

Keywords: *direct seeding system, tillering shoots, vegetative mass, foliar area, productivity.*

Введение. В Ставропольском крае из-за потепления климата, выразившегося в увеличении среднесуточных температур воздуха в осенний период и более позднего наступления зимы, рекомендовано срок посева озимой пшеницы перенести с ранее установленного в третьей декаде сентября на первую декаду октября (Чернов и Квасов, 2002).

Однако в крае все большее распространение получает технология возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе озимой пшеницы, в системе прямого посева, когда почва много лет не обрабатывается под все культуры севооборота (Власенко и Власенко, 2021). Обязательным элементом этой технологии является постоянное наличие растительных остатков, полностью укрывающих и затеняющих поверхность почвы (Белобров и др., 2023). При этом есть опасность существенного снижения температуры почвы на глубине заделки семян, что может привести к увеличению времени появления всходов и слабому развитию взошедших растений, которое может привести к снижению зимостойкости растений и их гибели в зимний период.

В то же время в засушливом Ставрополье часто наблюдается позднее появление всходов этой культуры из-за отсутствия или недостаточного количества влаги в посевном слое почвы. В этом случае растительные остатки, предотвращая или существенно снижая испарение влаги (Поляков и Бакиров, 2020), способствуют ее лучшему сохранению и тем самым создают более благоприятные условия для своевременного получения всходов.

При этом в системе прямого посева очень важно определить возможность и эффективность возделывания озимой пшеницы после подсолнечника, являющегося основной экономико-образующей культурой севооборота. Связано это с тем, что после уборки подсолнечника очень мало времени для подготовки почвы к посеву, к тому же в процессе обработки посевной слой иссушается, и получить своевременные и дружные всходы весьма проблематично. В результате урожайность озимой пшеницы по этому предшественнику часто экономически себя не оправдывает, особен-

но в засушливые годы. Поэтому в технологиях с обработкой почвы поле после подсолнечника рекомендуется оставлять под чистый пар и только потом сеять озимую пшеницу (Ерошенко и др., 2020).

В системе прямого посева почва не обрабатывается, и посев озимой пшеницы проводят специальными посевными агрегатами сразу после уборки подсолнечника. В этой связи целью исследований является установить возможность и целесообразность возделывания озимой пшеницы в системе прямого посева после подсолнечника и определить оптимальный срок ее посева по различным предшественникам в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2018–2021 гг. на опытном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», которое находится в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. По среднегодовым данным, здесь сумма эффективных температур составляет 3306 °С, за год выпадает 554 мм осадков. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднемогучий слабогумусированный тяжелосуглинистый.

Исследования проводили в севообороте горох – озимая пшеница – подсолнечник – озимая пшеница, в котором до закладки опыта все культуры севооборота три года возделывали по технологии прямого посева (без обработки почвы). Сроки посева озимой пшеницы от 15–20 сентября до 15–20 октября с интервалом 10 дней изучали по предшественникам горох и подсолнечник. Размещение деленок систематическое, площадь деланки 102 м² (5,1 м × 20,0 м).

В опыте сеяли допущенный к использованию в Ставропольском крае сорт озимой пшеницы Виктория Одесская. При посеве после гороха деланки гербицидом сплошного действия из группы глифосатов Торнадо 540 ВР в дозе 1,5 л/га обрабатывали при отрастании сорняков высотой до 10 см и за 10 дней до посева озимой пшеницы. После подсолнечника обработку глифосатом не проводили.

Перед посевом семена озимой пшеницы протравливали препаратом Дивиденд Стар, КС

с нормой 1,2 л/т. Посев производили сеялкой аргентинского производства Gimital, оборудованной турбодисками (култерами), обеспечивающими посев семян и заделку удобрений в необработанную почву. Посев проводили в указанные сроки с нормой высева 4,5 млн/га всхожих семян, глубина заделки семян 4–6 см. При посеве вносили 100 кг/га аммофоса.

После возобновления весенней вегетации проводили азотную подкормку аммиачной селитрой в дозе 150 кг/га. Борьбу с сорняками и болезнями во время весеннего кущения осуществляли путем опрыскивания посевов гербицидом Прима, СЭ в дозе 0,6 л/га в баковой смеси с фунгицидом Колосаль Про, КМЭ в дозе 0,4 л/га, в фазе колошения проводили повторное опрыскивание этим же фунгицидом. Уборку и учет урожая выполняли механизировано малогабаритным комбайном. Полевые исследования, обобщение и математическую обработку результатов полученных данных проводили по методике Б. А. Доспехова (2014).

Погодные условия в годы исследований отличались по количеству осадков и температурам воздуха, но в целом были характерными для зоны неустойчивого увлажнения – с большим количеством осадков весной и в начале лета и их уменьшением во второй половине вегетации. Наиболее засушливым был 2018/2019 с.-х. год, когда выпало 430 мм осадков, что меньше климатической нормы на 124 мм, или на 22,4 %. Атмосферная и почвенная засуха наблюдалась с июня по август с суммой осадков 58 мм, что меньше среднесуточных значений в 3,2 раза. Но в июне озимая пшеница вступила в фазу созревания, и эта засуха не оказала отрицательного влияния на ее урожайность. В 2019/2020 с.-х. году недобор осадков составил 104 мм (18,8 %). С ноября по апрель выпало всего 90 мм осадков (меньше обычного в 2,4 раза), что в сочетании с сильными ночными заморозками в первой декаде апреля (до -11 °C), вызвавшими гибель посевов, особенно ранних сроков, отрицательно сказалось на урожайности озимой пшеницы. Наиболее благоприятным по увлажнению был 2020/2021 с.-х. год, когда выпало на 115 мм (20,8 %) больше климатической нормы и осадки в течение вегетации выпадали равномерно, что положительно сказалось на ходе формирования урожая и урожайности культуры по обоим предшественникам.

Результаты и их обсуждение. Сроки посева оказали существенное влияние на полевую всхожесть семян, которая напрямую за-

висела от содержания влаги в посевном слое почвы и выпадающих до и после посева осадков. В среднем за годы проведения опыта содержание продуктивной влаги перед посевом 15–20 и 25–30 сентября по обоим предшественникам в слое почвы 0–20 см составляло 6–10 мм, перед октябрьскими сроками посева оно было достоверно больше – 12–13 мм ($HC_{05} = 1,7$ мм). Но в обоих случаях такие запасы влаги являются неудовлетворительными, при которых семена озимой пшеницы могут взойти после выпадения осадков.

Но в 2018 г., при содержании по обоим предшественникам продуктивной влаги в посевном слое 6–10 мм, после посева всех сроков в сентябре и октябре выпали осадки интенсивностью 84 мм, которые существенно пополнили запасы влаги. В 2019 г. за первую и третью декады сентября выпало 107 мм (в 2,5 раза больше среднесуточных значений), после которых в посевном слое почвы 0–20 см содержалось от 20 до 28 мм продуктивной влаги. Благодаря этому в данные годы дружные и ровные всходы озимой пшеницы были получены через 8–10 дней.

Осень 2020 г., когда при климатической норме 89 мм за август, сентябрь и октябрь выпало всего 11 мм осадков (в 8,1 раза меньше), продуктивной влаги в посевном слое не было, и семена озимой пшеницы всех сроков посева взошли одновременно после выпадения 22 мм осадков в первой декаде ноября. Поэтому в этот год период появления всходов при посеве 15–20 сентября составил 57 дней и на 10–12 дней сокращался при следующих сроках посева – до 23 дней при посеве 15–20 октября.

По количеству всходов существенной разницы между предшественниками и сроками посева не наблюдалось – перед уходом в зиму густота стояния растений в среднем по срокам посева после гороха составила 436 шт./м², после подсолнечника – 433 шт./м² при полевой всхожести семян 96,9 и 95,2 % соответственно.

Однако рост и развитие растений озимой пшеницы в осенний период существенно зависели от предшественников и сроков посева. При посеве 15–20 сентября от всходов до наступления холодов было 38 теплых дней с суммой среднесуточных температур воздуха больше 5 °C – 446 °C. За это время вегетативная масса, площадь листьев растений и количество боковых побегов кущения озимой пшеницы были существенно самыми большими по отношению к более поздним срокам посева (табл. 1).

Таблица 1. Влияние предшественника и срока посева на биометрические показатели растений озимой пшеницы перед уходом в зиму (среднее за 2018–2020 гг.)
Table 1. The effect of a forecrop and sowing dates on biometric parameters of winter wheat plants before wintering (mean in 2018–2020)

Срок посева	Надземная масса, г/м ²		Площадь листьев, м ² /м ²		Коэффициент кущения	
	горох	подсолнечник	горох	подсолнечник	горох	подсолнечник
15–20 сентября	209	144	0,87	0,63	3,2	2,5
25–30 сентября	164	90	0,46	0,30	2,3	2,0
5–10 октября	95	88	0,22	0,23	1,4	1,5

Продолжение табл. 1

Срок посева	Надземная масса, г/м ²		Площадь листьев, м ² /м ²		Коэффициент кущения	
	горох	подсолнечник	горох	подсолнечник	горох	подсолнечник
15–20 октября	0	0	0	0	0	0
НСП ₀₅ предшественник	15		0,03		0,2	
НСП ₀₅ срок посева	23		0,07		0,3	
НСП ₀₅ частных различий	32		0,12		0,5	

При посеве 25–30 сентября период осенней вегетации сократился до 29 дней с суммой температур воздуха 263 °С, что привело к достоверному уменьшению биометрических показателей растений по обоим предшественникам. Всходы озимой пшеницы, полученные при посеве 5–10 октября, осенью произрастали еще меньше – 16 дней с суммой температур 200 °С, поэтому их надземная масса, площадь листовой поверхности и кущение были существенно меньше, чем при более ранних сроках посева. Семена озимой пшеницы, посеянные 15–20 октября, взойли за 5–7 дней до наступления холодов, поэтому всходы ушли в зиму в фазе шильца или одной пары листьев.

Однако озимая пшеница благодаря своим биологическим особенностям кустится и весной до наступления температуры почвы на глубине узла кущения 14 °С. При этом в технологии прямого посева благодаря наличию на поверхности растительных остатков почва прогревается на 3–5 дней позже, а при облачной погоде и дольше, что обеспечивает растениям более продолжительный период весеннего кущения, чем в технологиях с обработкой почвы. Это способствует появлению дополнительных побегов кущения при посеве в первой декаде октября и увеличению коэффициента кущения по гороху до 2,3; по подсолнечнику – до 1,8.

В то же время посевы второй и третьей декады сентября, имея после весеннего возобновления вегетации более мощную вегетативную

массу, сильнее подвергались воздействию весенних заморозков, в результате которых происходили подмерзание листьев и частичная гибель побегов кущения. Особенно сильное отрицательное воздействие оказали апрельские заморозки 2020 г., что отрицательно сказалось на дальнейшем росте и развитии сентябрьских посевов озимой пшеницы.

По наблюдениям многих авторов, после весеннего возобновления вегетации существенное влияние на рост и развитие растений озимой пшеницы оказывают запасы влаги в почве, особенно в фазе колошения, когда наступают цветение и налив зерна (Оганян и др., 2023). В наших исследованиях содержание продуктивной влаги в фазе колошения, которая по срокам посева наступала в третьей декаде мая и первых числах июня, по всем вариантам опыта составляло 93–101 мм, не отличаясь существенно между собой (НСП₀₅ = 9 мм). Это связано с обильным выпадением осадков в мае во все три года опыта – в среднем 89 мм, что в два раза больше климатической нормы – 43 мм.

Тем не менее динамика нарастания надземной массы посевов озимой пшеницы существенно зависела от предшественника и нормы высева. В фазе кущения и выхода в трубку по обоим предшественникам достоверное преимущество по этому показателю имели сентябрьские посевы (табл. 2).

Таблица 2. Влияние предшественника и срока посева на вегетативную массу растений озимой пшеницы в фазе колошения, г/м² (среднее за 2019–2021 гг.)

Table 2. The effect of a forecrop and sowing dates on a vegetative mass of winter wheat plants in the heading stage, g/m² (mean in 2019–2021)

Предшественник	Срок посева	Фенологическая фаза		
		кущение	выход в трубку	колошение
Горох	15–20 сентября	319	1061	2174
	25–30 сентября	367	1081	2268
	5–10 октября	261	951	2438
	15–20 октября	138	726	2287
Подсолнечник	15–20 сентября	213	666	1766
	25–30 сентября	170	703	2006
	5–10 октября	158	642	2078
	15–20 октября	119	468	1718
НСП ₀₅ предшественник		17	47	96
НСП ₀₅ срок посева		22	56	111
НСП ₀₅ частных различий		29	68	123

В фазе «колошение» наибольшую вегетативную массу сформировал посев 5–10 октября – по гороху это увеличение было значимым,

по подсолнечнику математически не доказуемым. Перенос сроков посева озимой пшеницы на более ранние или поздние сроки приво-

дил к существенному снижению ее надземной массы по обоим предшественникам. При этом во все сроки посева и фенологические фазы вегетативная масса растений озимой пшеницы после гороха была значительно больше, чем после подсолнечника.

Аналогичные закономерности наблюдаются и с площадью листовой поверхности, которая до выхода в трубку озимой пшеницы по обоим предшественникам существенно больше при сентябрьских сроках посева (табл. 3).

Таблица 3. Влияние предшественника и срока посева на площадь листьев озимой пшеницы, м²/м² (среднее за 2019–2021 гг.)
Table 3. The effect of a forecrop and sowing dates on a foliar area of winter wheat plants, m²/m² (mean in 2019–2021)

Предшественник	Срок посева	Фенологическая фаза		
		кущение	выход в трубку	колошение
Горох	15–20 сентября	0,78	2,21	2,96
	25–30 сентября	0,76	2,54	3,05
	5–10 октября	0,34	2,60	3,24
	15–20 октября	0,33	2,08	2,92
Подсолнечник	15–20 сентября	0,48	2,04	2,28
	25–30 сентября	0,61	2,13	2,49
	5–10 октября	0,23	2,08	2,49
	15–20 октября	0,25	1,86	2,45
НСР ₀₅ предшественник		0,03	0,12	0,15
НСР ₀₅ срок посева		0,05	0,15	0,17
НСР ₀₅ частных различий		0,08	0,19	0,20

В фазе колошения по предшественнику горох достоверно самую большую ассимиляционную поверхность – 3,24 м²/м² – сформировал посев 5–10 октября, после подсолнечника практически одинаковую площадь листьев имели октябрьские посевы и третьей декады сентября – 2,45–2,49 м²/м², значительно превышая таковую посева второй декады сентября (2,28 м²/м²).

Различная динамика надземной массы и фотосинтетического аппарата растений в те-

чение вегетации озимой пшеницы в зависимости от предшественников и сроков посева оказала существенное влияние на урожайность культуры.

По обоим предшественникам достоверно самую большую урожайность в среднем за 3 года опыта сформировали посевы первой декады октября, но после гороха она составила 4,39 т/га, что значительно (на 1,08 т/га, или на 32,6 %) превышает таковую после подсолнечника (табл. 4).

Таблица 4. Влияние предшественников и сроков посева на урожайность озимой пшеницы, т/га
Table 4. The effect of a forecrop and sowing dates on winter wheat productivity, t/ha

Предшественник	Срок посева	Год			Среднее
		2019	2020	2021	
Горох	15–20 сентября	4,04	2,89	3,56	3,50
	25–30 сентября	4,28	2,96	3,86	3,70
	5–10 октября	4,96	4,85	3,36	4,39
	15–20 октября	3,61	3,00	4,62	3,74
Подсолнечник	15–20 сентября	2,44	1,54	3,84	2,61
	25–30 сентября	2,89	1,53	4,11	2,84
	5–10 октября	2,82	3,20	3,92	3,31
	15–20 октября	2,72	1,42	4,36	2,83
НСР ₀₅ предшественник		0,24	0,16	0,19	0,20
НСР ₀₅ срок посева		0,15	0,09	0,20	0,15
НСР ₀₅ частных различий		0,28	0,19	0,22	0,27

Посев озимой пшеницы в более ранние или поздние сроки приводил к значимому снижению урожайности по обоим предшественникам, но после подсолнечника она во все сроки посева существенно ниже, чем после гороха.

При этом в более засушливых условиях вегетации озимой пшеницы в 2019 и 2020 гг., ког-

да с марта по июль при климатической норме 278 мм выпало всего 170 и 242 мм, или на 108 и 36 мм (38,8 и 12,9 %) меньше, существенно более высокая урожайность во все сроки посева получена после гороха. При более благоприятных условиях увлажнения вегетационного периода 2021 г. – 380 мм (на 92 мм, или 33,1 %,

больше среднемноголетних значений) значимое преимущество во все сроки посева было у посевов, посеянных после подсолнечника.

По стекловидности, содержанию белка и сырой клейковины самое лучшее по качеству

зерно озимой пшеницы получено при позднем сроке посева во второй декаде октября, где после гороха оно соответствовало продовольственному зерну 3-го, после подсолнечника – 4-го класса (табл. 5).

Таблица 5. Влияние предшественника и срока посева на качество зерна озимой пшеницы (среднее за 2019–2021 гг.)
Table 5. The effect of a forecrop and sowing dates on winter wheat grain quality (mean in 2019–2021)

Предшественник	Срок посева	Стекловидность, %	Белок, %	Клейковина, %	ИДК	Класс
Горох	15–20 сентября	32,8	9,8	16,4	68,6	5
	25–30 сентября	30,7	9,1	15,2	69,3	5
	5–10 октября	45,4	11,7	19,9	72,1	4
	15–20 октября	51,1	15,5	26,9	71,2	3
Подсолнечник	15–20 сентября	34,8	9,7	16,3	74,6	5
	25–30 сентября	27,8	8,7	14,7	67,2	5
	5–10 октября	28,5	8,4	14,7	67,8	5
	15–20 октября	46,1	13,1	22,8	68,1	4
НСР ₀₅ предшественник		2,0	0,7	1,1	–	–
НСР ₀₅ срок посева		1,8	0,6	1,0	–	–
НСР ₀₅ частных различий		1,9	0,7	1,2	–	–

При посеве после гороха во второй декаде октября получено продовольственное зерно 4-го класса, во всех остальных вариантах опыта – фуражное зерно 5-го класса.

С учетом качества зерна самая высокая прибыль (433078 руб./га) и рентабель-

ность (153,3 %) при самой низкой себестоимости его производства (6425 руб./т) получены при посеве озимой пшеницы после гороха в первой декаде октября. Посев в более ранние или поздние сроки приводил к снижению экономической эффективности культуры (табл. 6).

Таблица 6. Влияние предшественников и сроков посева на экономическую эффективность возделывания озимой пшеницы
Table 6. The effect of a forecrop and sowing dates on economic efficiency of winter wheat cultivation

Показатель	Срок посева			
	15–20 сентября	25–30 сентября	5–10 октября	15–20 октября
Предшественник горох				
Денежная выручка, руб./га	53760	56832	71557	64702
Затраты, руб./га	28250	28250	28250	28250
Себестоимость, руб./т	8071	7635	6425	7553
Прибыль, руб./га	25510	28582	43307	36452
Уровень рентабельности, %	90,35	101,2	153,3	129,0
Предшественник подсолнечник				
Денежная выручка, руб./га	40090	43622	50842	46129
Затраты, руб./га	26971	26971	26971	26971
Себестоимость, руб./т	10334	9398	8148	9530
Прибыль, руб./га	13119	16651	23871	19158
Уровень рентабельности, %	48,6	61,7	88,5	66,9

При значительно меньшей урожайности и качестве зерна озимой пшеницы, посеянной после подсолнечника, чем после гороха, прибыль с учетом качества получаемого зерна при посеве культуры по этому предшественнику в оптимальный срок 5–10 октября составила 23871 руб./га, рентабельность производства – 88,5 %, что с учетом значительно более высокой экономической эффективности возделывания предшествующего подсолнечника (Дридигер и др., 2021) вполне приемлемо.

Выводы. Оптимальным сроком посева озимой пшеницы, возделываемой в системе

прямого посева, при урожайности после гороха 4,39 т/га и подсолнечника 3,31 т/га является первая декада октября. Посев в более ранние или поздние сроки приводит к существенному снижению урожайности культуры – до 3,50–3,74 т/га после гороха и 2,61–2,83 т/га после подсолнечника.

Урожайность озимой пшеницы после подсолнечника существенно (на 1,08 т/га, или на 24,6 %) ниже, чем после гороха, но она при получении прибыли 23871 руб./га и рентабельности производства 88,5 % экономически оправдана и в сочетании с высокой эконо-

мической эффективностью предшествующего подсолнечника делает это звено севооборота высокоэффективным.

Финансирование. Финансирование осуществлено за счет средств бюджета учреждения по месту работы авторов на выполнение

НИР по теме «Разработать технологии возделывания сельскохозяйственных культур в системе прямого посева в различных почвенно-климатических условиях Ставропольского края» № FNMU-2022-0027.

Библиографический список

1. Белобров В. П., Шаповалов Д. А., Дридигер В. К., Юдин С. А., Ермолаев Н. Р. Почвозащитная роль прямого посева в земледелии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 3(393). С. 255–260. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_3_255
2. Власенко А. Н., Власенко Н. Г. Система No-till на черноземных почвах северной лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2021. № 3. С. 81–83. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.15
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 351 с.
4. Дридигер В. К., Кулинцев В. В., Измаков С. А., Дридигер В. В. Эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 1. С. 34–39. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10100
5. Ерошенко Ф. В., Оганян Л. Р., Сторчак И. Г., Шестакова Е. О. Состояние и перспективы устойчивого производства высококачественного зерна в Ставропольском крае // АПК: Экономика, управление. 2020. № 2. С. 55–66. DOI: 10.33305/203-54
6. Оганян Л. Р., Ерошенко Ф. В., Ковтун В. И., Сторчак И. Г. Агротехника возделывания озимой пшеницы сортов селекции Северо-Кавказского ФНАЦ // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 80–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86
7. Поляков Д. Г., Бакиров Ф. Г. Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта // Земледелие. 2020. № 1. С. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101
8. Чернов А. Я. Биология, технология, урожай озимой пшеницы в Ставропольском крае // А. Я. Чернов, Н. А. Квасов. Ставрополь: Ставропольская краевая типография, 2005. 128 с.

References

1. Belobrov V. P., Shapovalov D. A., Dridiger V. K., Yudin S. A., Ermolaev N. R. Pochvozashchitnaya rol' pryamogo poseva v zemledelii [Soil protection role of direct seeding in agriculture] // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2023. № 3(393). S. 255–260. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_3_255
2. Vlasenko A. N., Vlasenko N. G. Sistema No-till na chernozemnykh pochvakh severnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [No-till system on blackearth soils of the northern forest-steppe of Western Siberia] // Plodorodie. 2021. № 3. S. 81–83. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.15
3. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. M.: Al'yans, 2011. 351 s.
4. Dridiger V. K., Kulintsev V. V., Izmalkov S. A., Dridiger V. V. Effektivnost' tekhnologii No-till v zasushlivoi zone Stavropol'skogo kraia [Efficiency of No-till technology in the arid part of the Stavropol Territory] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021. T. 35, № 1. S. 34–39. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10100
5. Eroshenko F. V., Oganyan L. R., Storchak I. G., Shestakova E. O. Sostoyanie i perspektivy ustoychivogo proizvodstva vysokokachestvennogo zerna v Stavropol'skom krae [The state and prospects of sustainable production of high-quality grain in the Stavropol Territory] // APK: Ekonomika, upravlenie. 2020. № 2. S. 55–66. DOI: 10.33305/203-54
6. Oganyan L. R., Eroshenko F. V., Kovtun V. I., Storchak I. G. Agrotekhnika vzdelyvaniya ozimoi pshenitsy sortov seleksii Severo-Kavkazskogo FNATs [Agricultural technology for growing winter wheat varieties developed by the North-Caucasus FARC] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 3. S. 80–86. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-80-86
7. Polyakov D. G., Bakirov F. G. Organicheskaya mul'cha i No-till v zemledelii: obzor zarubezhnogo opyta [Organic mulch and No-till in agriculture: a review of foreign experience] // Zemledelie. 2020. № 1. S. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101
8. Chernov A. Ya. Biologiya, tekhnologiya, urozhai ozimoi pshenitsy v Stavropol'skom krae: monografiya [Biology, technology, yield of winter wheat in the Stavropol Territory] // A. Ya. Chernov, N. A. Kvasov. Stavropol': Stavropol'skaya kraevaya tipografiya, 2005. 128 s.

Поступила: 26.03.25; доработана после рецензирования: 20.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Авторский вклад. Гаджиумаров Р. Г. – проектирование и проведение исследования, анализ данных и их интерпретация; Джандаров А. Н. – выполнение полевых опытов и сбор данных, оформление статьи; Гоноченко А. В. – выполнение полевых, лабораторных опытов и сбор данных; Кузьминов С. А. – выполнение полевых, лабораторных опытов и сбор данных; Дридигер В. К. – концептуализация исследования, анализ данных и подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЦИФРОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ АГРОТЕХНОЛОГИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ ЮЖНОГО УРАЛА

Ю. А. Гулянов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела степеведения и природопользования, iury.gulynov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5883-349X

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, д. 11; e-mail: orensteppe@mail.ru

Исследования проведены в 2019–2024 гг. в посевах озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ячменя, подсолнечника, кукурузы и сои в Центральной почвенно-климатической зоне Оренбургской области с целью выявления эффективности цифровых методов в управлении продуктивностью полевых культур. Цифровой мониторинг развития биологической массы осуществляли посредством нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) на основе данных ДЗЗ и наземного сканирования ручным сенсором. Площадь ассимиляционной поверхности растений определяли весовым методом. При обработке цифрового материала использовали общепринятые методы статистического анализа. Метеорологические условия соответствовали свойственной региону засушливости климата, определяемой повышенными ресурсами тепла и ограниченным атмосферным увлажнением. При сумме активных (выше 10 °C) температур 3402 °C и 232 мм осадков в среднем за период исследований ГТК Селянинова составил 0,69 единицы. Выявлена высокая внутривидовая гетерогенность биомассы растений, сопровождающаяся пространственной вариабельностью урожайности и снижением валовых сборов. Определена приемлемость цифровых методов ее выражения в виде мозаичности NDVI. Выявлена сильная связь его величины с площадью ассимиляционной поверхности ($r = 0,86–0,89$) и урожайностью полевых культур ($r = 0,79–0,83$) по элементарным участкам поля. Обоснована перспективность формирования зональной (региональной) базы оптимальных величин NDVI, характерных для высокопродуктивных (эталонных) посевов, и практическая целесообразность их использования при реализации корректирующих агроприемов в технологиях точного (цифрового) земледелия. На черноземах южных Оренбургской области при дискретном внесении минеральных удобрений установлено повышение средней по полю яровой пшеницы величины NDVI с 0,64 до 0,79 единицы, снижение пространственной вариабельности биомассы и повышение урожайности зерна на 0,32 т/га, или 22,6 %, по сравнению с внесением всей нормы удобрений сплошным способом в один прием.

Ключевые слова: степная зона России, полевые культуры, пространственная гетерогенность биомассы, NDVI, ДЗЗ, точное (цифровое) земледелие.

Для цитирования: Гулянов, Ю. А. Цифровое сопровождение агротехнологий в земледелии Южного Урала // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 90–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-90-97.



DIGITAL SUPPORT OF AGROTECHNOLOGIES IN THE SOUTHERN URALS' AGRICULTURE

Yu. A. Gulyanov, Doctor of Agricultural Sciences, professor, leading researcher of the department of steppe studies and nature management, iury.gulynov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5883-349X

The Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate structural subdivision of the Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, Pionerskaya Str. 1; e-mail: orensteppe@mail.ru

The study was conducted among winter and spring wheat, winter rye, barley, sunflower, maize and soybean in the Central soil and climate zone of the Orenburg region in 2019–2024 to identify the efficiency of digital methods in managing the productivity of field crops. Digital monitoring of the development of biological mass was carried out using the normalized difference vegetation index (NDVI) based on remote sensing Earth data (RS) and ground scanning with a hand-held sensor. The area of the assimilation surface of plants was determined by the weight method. When processing the digital material, there were used generally accepted methods of statistical analysis. The weather conditions corresponded to the aridity of the climate typical for the region, with increased heat resources and limited air moisture. With the sum of active (above 10 °C) temperatures of 3402 °C and 232 mm of precipitation, on average, Selyaninov HHC was 0.69 units during the study period. There has been established high intra-field heterogeneity of plant biomass, accompanied by spatial variability of productivity and gross harvests' decrease. There has been determined acceptability of digital methods for expressing it in the form of NDVI mosaic. There has been identified a strong correlation between its value and the assimilation surface area ($r = 0.86–0.89$) and productivity of field crops ($r = 0.79–0.83$) according to elementary field plots. There have been substantiated prospects for forming a zonal (regional) base of optimal NDVI values characteristic of highly productive (reference) crops and the practical feasibility of their use in corrective agricultural practices in precision (digital) farming technologies. On the southern blackearth of the Orenburg region, with discrete application of mineral fertilizers, there has been found an increase from 0.64 to 0.79 units in the mean NDVI value in the spring wheat field, a decrease in the spatial variability of biomass

and an increase in grain productivity by 0.32 t/ha or 22.6 % in comparison with the application of the entire fertilizer rate in a continuous manner in one go.

Keywords: *steppe part of Russia, field crops, spatial heterogeneity of biomass, NDVI, remote sensing (RS), precision (digital) agriculture.*

Введение. Самообеспечение основными видами качественной сельскохозяйственной продукции в достаточных для активного и здорового образа жизни объемах является важнейшим условием обеспечения продовольственной безопасности и экспортного потенциала России, фактором сохранения ее государственности и суверенитета.

Выращивание необходимых для этого сборов растительного сырья предполагает использование обширных площадей земель с пространственно изменчивым уровнем почвенного плодородия и низкой устойчивостью к проявлению деградационных процессов (Кирюшин, 2024), что сопровождается гетерогенностью развития полевых культур, высокой внутривидовой пестротой урожайности и нестабильностью валовых урожаев.

С особой остротой обозначенная проблема проявляется в наиболее освоенных в сельскохозяйственном отношении регионах степной зоны России, где сосредоточено около 60,0 % всех посевных площадей (более 46,0 млн га) и собирается более 63,0 % валового урожая зерновых и зернобобовых культур (более 60,0 млн т).

В этом отношении выделение локальных внутривидовых областей с выраженной неоднородностью развития биологической массы и реализация мероприятий по пространственной оптимизации условий роста и развития для всех растений на поле являются актуальной задачей степного землепользования России и представляют высокий научный интерес.

Широкими возможностями в ее решении располагают интеллектуальные технологии цифрового земледелия, основанные на использовании географических информационных систем (ГИС), являющихся инструментом получения, обработки, анализа и отображения пространственных данных (Кремнева и др., 2020). Их принципиальная особенность – отношение к полю как к совокупности характеризующихся природной и антропогенной неоднородностью отдельных участков, обладающих различным урожайным потенциалом (Якушев и др., 2019).

Производственное освоение интеллектуальных технологий цифрового земледелия основывается на мониторинге биомассы посевов методами дистанционного зондирования (ДЗЗ) из космоса (Ерошенко и др., 2017) и (или) путем использования беспилотных летательных аппаратов и наземных, включая портативные, сканирующих устройств.

В качестве информационного показателя степени ее развития чаще всего используется нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Попович и Дунаева, 2024). Он рассчитывается на основе спутниковых снимков высо-

кого разрешения, имеющих каналы в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном (0,75–1,00 мкм) диапазонах (Acar and Altun, 2021).

Наиболее часто для этого используются открытые данные высокого разрешения со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 с пространственным разрешением 30 и 10 м/пиксел и периодичностью съемки 16 и 5 дней.

Нивелирование пространственных различий в условиях роста и развития возделываемых растений на выявленных в процессе мониторинга участках поля, способствующее снижению пестроты и более полной реализации их продуктивности, в интеллектуальных технологиях цифрового земледелия достигается дискретным технологическим воздействием (Zhai et al., 2025).

Наиболее освоенным его приемом в мировой и отечественной практике в настоящее время является дискретное внесение удобрений и средств защиты растений (Зубарев и др., 2023), осваиваются устройства и для дискретного высева семян и др.

Дискретное применение агрохимикатов и средств защиты растений сопровождается еще и снижением рисков загрязнения окружающей природной среды за счет сокращения их расходов, а также ощутимой экономией денежных средств и материальных ресурсов, в том числе энергоносителей (Шпанев и Смур, 2020).

В связи с этим верификация методов цифрового сопровождения агротехнологий в ландшафтно-адаптивном земледелии степной зоны, являющейся хлебной житницей России и уникальным памятником природного разнообразия, характеризуется высокой актуальностью для стабильного производства продукции растениеводства и сохранения биологического разнообразия степной биоты.

Цель исследования – выявить эффективность цифровых методов в управлении продуктивностью полевых культур, направленном на снижение пространственной вариабельности их урожайности и повышение валовых сборов на Южном Урале.

Для выполнения этой цели поставлены следующие задачи:

- провести цифровой мониторинг биологической массы полевых культур на основе пространственного распределения индекса NDVI, исследовать связь NDVI, площади ассимиляционной поверхности растений и их урожайности статистическими методами;

- определить оптимальные размеры ассимиляционной поверхности растений в высокопродуктивных зональных посевах и соответствующие им индексы NDVI и рекомендовать их в качестве эталонных для включения в региональную базу данных;

- провести производственную верификацию дискретного внесения минеральных удо-

брений и охарактеризовать практическую значимость полученных результатов.

Материалы и методы исследований.

Работу проводили в 2019–2024 гг. в агроценозах полевых культур в Центральной почвенно-климатической зоне Оренбургской области. Мониторинговые исследования осуществляли в производственных посевах озимой пшеницы и на полигонах экологического испытания озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ячменя, подсолнечника, кукурузы и сои на черноземах обыкновенных, содержащих в пахотном слое до 4,4 % гумуса, 2,16 мг на 100 г почвы подвижного азота (NO_3), 12,6 мг легкогидролизуемого азота, 4,5 мг подвижного фосфора (P_2O_5), 35 мг обменного калия (K_2O) и pH 7,7. Метеорологические условия соответствовали свойственной зоне засушливости климата, определяемой повышенными ресурсами тепла и ограниченным атмосферным увлажнением. При сумме активных (выше 10 °C) температур 3402 °C и 232 мм осадков в среднем за период исследований ГТК Селянинова составил 0,69 единицы.

Полевой опыт с дискретным внесением минеральных удобрений в посевах яровой пшеницы проводили в 2022–2024 гг. на черноземах южных, содержащих в пахотном слое до 3,8 % гумуса, 1,35 мг на 100 г почвы подвижного азота (NO_3), 8,4 мг легкогидролизуемого азота, 3,25 мг подвижного фосфора (P_2O_5), 27 мг обменного калия (K_2O) и pH 7,8 (Гулянов и др., 2023). За период активных (выше 10 °C) температур в среднем за три года отмечено 278 мм осадков, сумма активных температур равнялась 3371 °C, а ГТК Селянинова составил 0,86 единицы (засушливые условия). Минеральные азотно-фосфорные удобрения общей нормой 60 кг/га д.в. NP на одном участке поля в виде аммофоса (100 кг/га) вносили сплошным способом в один прием в рядки при посеве сеялкой СКП-2,1. На другом участке эту же норму распределяли на два приема. Основную их часть (36 кг/га д.в.) также вносили в виде аммофоса (60 кг/га) сплошным способом в рядки при посеве сеялкой СКП-2,1. Оставшуюся часть (23 кг/га д.в.) вносили дифференцированно в виде некорневой подкормки водным раствором мочевины (50 кг/га) в фазу выхода в трубку навесным опрыскивателем Заря-ОН-600-18-06 только на участках со стабильно пониженным

развитием биомассы, выявленных на основе анализа данных ДЗЗ за предшествующие годы.

Площадь ассимиляционной поверхности растений определяли весовым методом с использованием электронных весов Electronic balance, Type CBL 2200H по образцам, отобраным в 4-кратной повторности с площадью 0,25 м².

Цифровой мониторинг развития биологической массы полевых культур осуществляли посредством определения NDVI экспериментальных участков по данным ДЗЗ и посредством наземного сканирования портативным устройством (ручным сенсором) Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS – 100 (Trimble, USA). В первом случае NDVI определяли на базе общедоступных космических снимков Landsat 8 и Sentinel-2, размещенных на on-line ресурсах OneSoil.ai и Sentinel-hub.com. Полученные данные наносили на картографическую основу в программном комплексе Next GIS с последующей обработкой в Arc Map.

Принцип работы ручного сенсора состоит в излучении на поверхность растений и измерении отраженных импульсов красного и инфракрасного света и отображении величин NDVI в условных единицах от 0,00 до 0,99 на дисплее прибора. Для повышения достоверности результатов наземных измерений проводили многократное сканирование посевов в границах реперных точек, закрепленных в системе координат портативным мини-навигатором Garmin GPSMAP 64 st.

При обработке цифрового материала использовали общепринятые методы статистического анализа.

Результаты и их обсуждение. Выявлена легко фиксирующаяся визуально и при наземном сканировании портативными оптическими устройствами высокая внутривидовая гетерогенность биологической массы полевых культур, отчетливо проявляющаяся и на космических снимках в виде мозаичности NDVI.

На черноземах обыкновенных Оренбургской области коэффициент вариации NDVI по элементарным участкам поля озимой пшеницы в фазу осеннего кущения составил 22,3 % с размахом изменчивости в 0,19 единицы (0,63–0,82) (рис. 1).

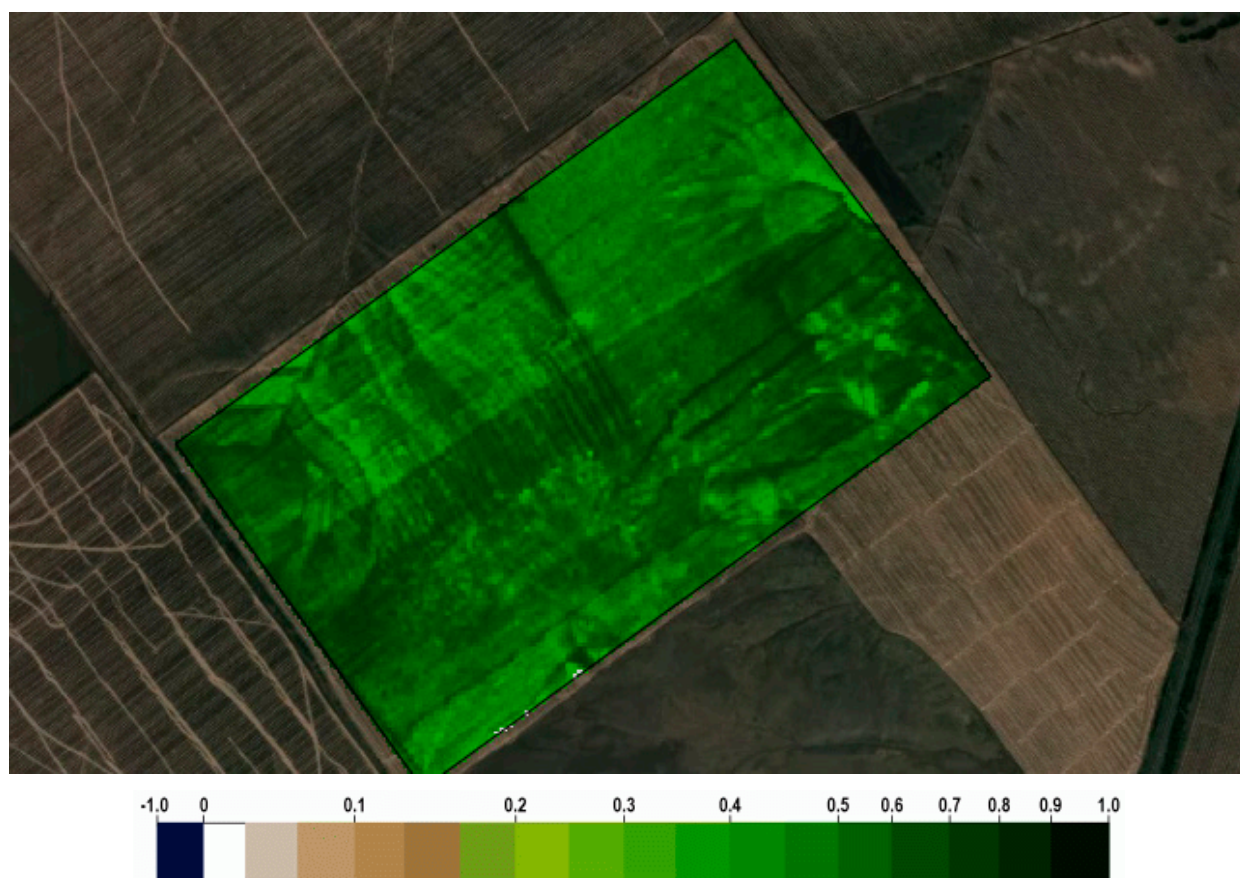


Рис. 1. Пространственная изменчивость NDVI на поле озимой пшеницы в фазу осеннего кущения на черноземах обыкновенных Оренбургской области, Октябрьский район, октябрь 2023 г. (по результатам космической съемки)

Fig. 1. Spatial variability of NDVI in the winter wheat field during the autumn tillering phase on ordinary blackearth in the Orenburg region, Oktyabrsky district, October 2023 (based on the space photography)

За весенне-летний период вегетации в картине пространственного распределения NDVI заметного нивелирования не выявлено.

Зависимость пространственного распределения NDVI в период максимального развития биологической массы (фаза колошения–цветения) от ее однородности (или гетерогенности) в начале вегетации подтверждена результатами статистического анализа. Связь временных рядов NDVI в эти периоды сильная, с коэффициентом корреляции Пирсона (r) 0,87 при величине его стандартной ошибки (s_r) 0,058. Связь описывается уравнением регрессии

$$y = 0,563x + 0,619,$$

где x – NDVI при завершении осенней вегетации, y – NDVI в фазу колошения–цветения. Зависимость данных величин наблюдается в 75,7 % случаев ($r^2 = 0,757$) или динамика NDVI при завершении осенней вегетации на 75,7 % детерминирует вариацию NDVI в фазу колошения – цветения.

В период уборки 2024 г. отмечена изменчивость урожайности зерна по элементарным участкам поля от 1,34 до 2,15 т/га (0,81 т/га) с ко-

эффициентом вариации 26,4 %. Валовой сбор зерна в расчете на 100 га уборочной площади составил 160,7 т, что ниже сбора, ожидаемого от средней урожайности (1,74 т/га) на 13,8 т, или 8,0 %. Разница же с валовым сбором, ожидаемым от наивысшей по полю урожайности (2,15 т/га), составила 54,3 т, или 25,3 %.

В результате корреляционного анализа урожайных данных по элементарным участкам поля выявлена их сильная связь с величиной NDVI в отмеченные выше периоды вегетации и площадью ассимиляционной поверхности растений ($r = 0,79–0,83$), в свою очередь сильно связанных между собой ($r = 0,86–0,89$). Стандартная ошибка коэффициента корреляции (s_r) при этом составила 0,071–0,065 и 0,059–0,053 соответственно.

Исходя из этого, для оценки урожайных перспектив биологической массы полевых культур на основе NDVI представляет определенный интерес формирование базы данных его величин, характерных для высокопродуктивных (эталонных) посевов, в том числе в разрезе сортов, с учетом их индивидуальных особенностей.

Оптимальные величины площади ассимиляционной поверхности и соответствующие

им индексы NDVI отдельных полевых культур для условий Центральной почвенно-климатической зоны Оренбургской области, установленные по результатам шестилетних опре-

делений на высокопродуктивных участках экологического испытания и рекомендуемые для включения в региональную базу данных, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендуемые фитометрические параметры высокопродуктивных агроценозов полевых культур для Центральной почвенно-климатической зоны Оренбургской области, средние данные за 2019–2024 гг. (по результатам наземного сканирования посевов)
Table 1. Recommended phytometric parameters of highly productive agroecosystems of field crops for the Central soil and climatic zone of the Orenburg region, mean data for 2019–2024 (based on the ground scanning of crops)

Культура	Фаза вегетации	Площадь ассимиляционной поверхности (ПЛ), тыс. м ² /га	Вегетационный индекс (NDVI), единицы
Озимая пшеница	кущение	14,9–16,3	0,76–0,78
	выход в трубку	18,7–20,6	0,82–0,84
	колошение–цветение	23,7–25,7	0,84–0,85
Озимая рожь	кущение	18,6–19,9	0,80–0,82
	выход в трубку	24,4–26,3	0,85–0,87
	колошение–цветение	28,7–30,1	0,85–0,86
Яровая пшеница	кущение	11,4–12,8	0,55–0,58
	выход в трубку	15,1–17,3	0,62–0,63
	колошение–цветение	18,4–18,8	0,61–0,63
Ячмень	кущение	11,6–12,9	0,62–0,67
	выход в трубку	16,3–18,1	0,70–0,73
	колошение–цветение	19,9–21,2	0,71–0,72
Подсолнечник	4–5 пар настоящих листьев	15,6–17,1	0,65–0,67
	образование корзинок	8,3–20,2	0,76–0,82
	цветение	22,6–24,1	0,81–0,85
Кукуруза	выход в трубку	15,2–16,1	0,61–0,64
	9 листьев	20,8–22,3	0,74–0,78
	цветение	24,6–26,2	0,81–0,83
Соя	ветвление	17,9–22,3	0,63–0,71
	начало цветения	29,4–34,3	0,86–0,88
	образование бобов	34,9–36,7	0,85–0,87

Использование этих данных для оперативной оценки фитометрических параметров текущих посевов может иметь высокую практическую целесообразность при реализации корректирующих агротехнических приемов в технологиях точного (цифрового) земледелия.

Таким образом, зависимость валового урожая от внутривариационной изменчивости урожайности предопределяет необходимость постоянного мониторинга биологической массы полевых культур по элементарным участкам поля, начиная с ранних фаз, для сопоставления ее текущих величин с параметрами высокопродуктивных посевов.

В определенных пределах выравнять неоднородность условий внешней среды и повышать урожайные перспективы растений на участках с низким потенциалом, как показали наши исследования, позволяет внедрение в технологический процесс приемов цифрового земледелия.

Так, в полевом опыте с дискретным внесением минеральных удобрений под яровую пшеницу на черноземах южных Центральной почвенно-климатической зоны Оренбургской области (2022–2024 гг.) отмечено снижение мозаичности биомассы и повышение средней по полю величины NDVI, составившее в фазу колошения – цветения 0,79 единицы. Это оказалось выше, чем при внесении всей нормы NP сплошным способом в один прием (0,64) на 0,15 единицы, или 23,4 %. Размах пространственной изменчивости NDVI снизился почти в четыре раза и был равен 0,08 единицы (0,76–0,84) против 0,29 (0,42–0,71) при традиционном подходе к внесению удобрений. Биологическая урожайность зерна по элементарным участкам поля изменялась от 1,63 до 1,81 т/га с коэффициентом вариации 11,9 %. Средняя урожайность по участку составила 1,73 т/га и оказалась выше, чем при внесении всей нормы NP сплошным способом в один прием на 0,32 т/га, или 22,6 % (рис. 2).

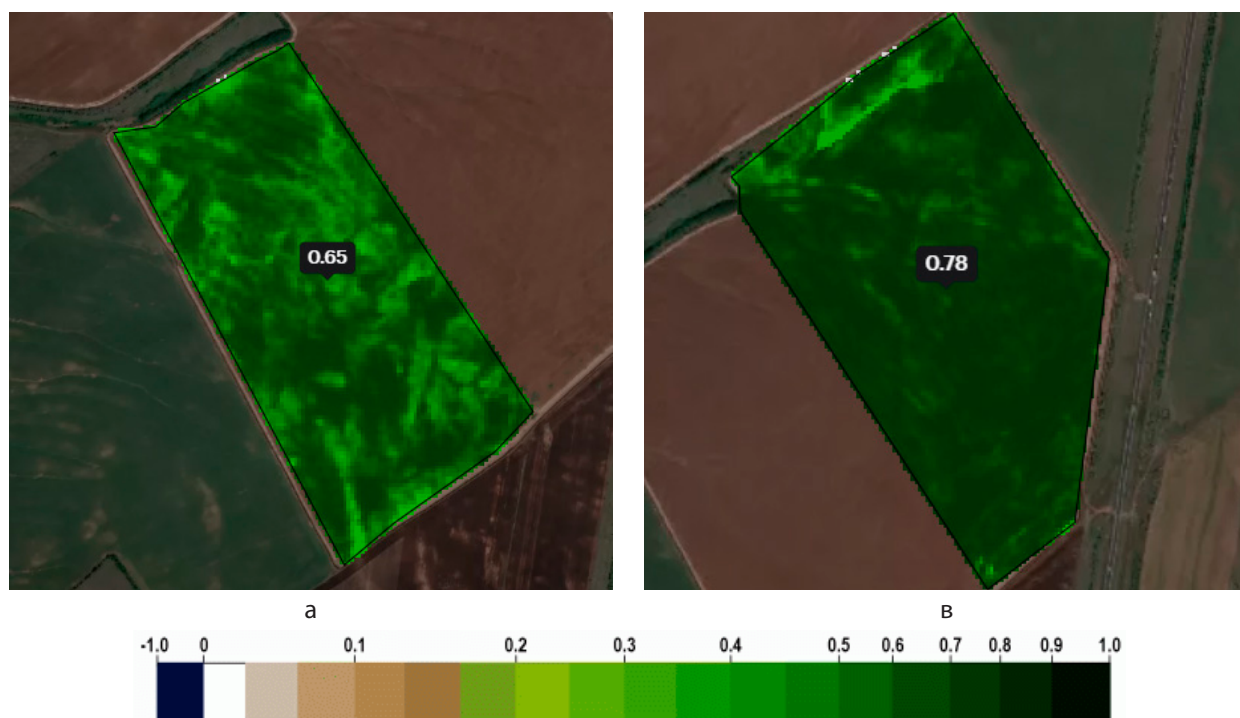


Рис. 2. Вариативность развития биологической массы яровой пшеницы при внесении всей нормы NP сплошным способом в один прием (а) и дискретном внесении в агротехнологиях с цифровым сопровождением (в) на черноземах южных Оренбургской области, Оренбургский район, 2022 г. (по результатам космической съемки)

Fig. 2. Variability of biological mass of spring wheat with application of the entire NP rate in a continuous manner in one go (a) and with discrete application in agricultural technologies with digital support (b) on the southern blackearth of the Orenburg region, Orenburg district, 2022 (based on the space photography)

В целом проведенными нами исследованиями определена перспективность цифровых методов для контроля развития биомассы полевых культур в земледелии Южного Урала в виде динамики NDVI на основе мультиспектральных космических снимков (ДЗЗ) или с помощью наземных сканирующих устройств. Полученная таким образом оперативная информация может быть использована для управления продуктивностью текущих посевов путем дискретного внесения агрохимикатов или средств защиты растений, а также применена в последующем для пространственной дифференциации норм высева семян или при корректировке подходов к построению севооборотов, обработке почвы, структуре посевных площадей, комплектованию машинно-тракторного парка и др., включая и структуру землепользования.

Практическая значимость полученных результатов заключается в перспективности их использования для мониторинга продукционного процесса полевых культур, обоснования целесообразности и разработки путей реализации корректирующих управленческих и технологических решений, направленных на повышение продуктивности.

Выводы. Локальные участки полей с выраженной неоднородностью развития биологи-

ческой массы отчетливо проявляются на космических снимках в виде мозаичности индекса NDVI и легко выделяются при наземном сканировании портативными устройствами. Его величина сильно связана ($r = 0,86-0,89$) с площадью ассимиляционной поверхности растений и от его динамики в высокой степени зависит ($r = 0,79-0,83$) уровень урожайности по элементарным участкам поля.

Сильная связь этих параметров определяет актуальность формирования зональной (региональной) базы величин NDVI, характерных для высокопродуктивных (эталонных) посевов. Их использование для оперативной оценки фитометрических параметров текущих посевов имеет высокую практическую целесообразность.

Реализация в агротехнологиях элементов цифрового сопровождения способствует выравниванию неоднородности условий внешней среды, повышает урожайность растений на участках с пониженным потенциалом, приводит к повышению средней по полю урожайности и валового сбора.

На черноземах южных Центральной почвенно-климатической зоны Оренбургской области при дискретном внесении минеральных удобрений под яровую пшеницу величина NDVI в фазу колошения-цветения повысилась

до 0,79 единицы (на 0,15 единицы, или 23,4%), а размах ее вариабельности (0,08 единицы) снизился почти в четыре раза. Это сопровождалось возрастанием средней по полю урожайности зерна на 0,32 т/га, или 22,6%, по сравнению с внесением всей нормы удобрений сплошным способом в один прием.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № ГР АААА-А21-121011190016-1 «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем».

Библиографический список

1. Гулянов Ю. А., Поляков Д. Г. Зависимость фитометрических параметров полевых агроценозов от агрофизических показателей почвы // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 1(33). С. 19–33. DOI: 10.5281/zenodo.7898389
2. Ерошенко Ф. В., Барталев С. А., Кулинцев В. В., Сторчак И. Г., Шестакова Е. О., Симатин Т. В. Возможности региональной оценки качества зерна озимой пшеницы на основе спутниковых данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 7. С. 153–165. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-153-165
3. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Новикова Т. В., Полякова С. С., Фомин Д. С. Применение данных дистанционного зондирования Земли с элементами точного земледелия при возделывании бобово-злаковых смесей с разным соотношением компонентов // Пермский аграрный вестник. 2023. № 1(41). С. 20–28. DOI: 10.47737/2307-2873_2023_41_20
4. Кирюшин В. И. Организация территориального и внутрихозяйственного землеустройства на ландшафтно-экологической основе // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 5. С. 4–9. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_5_4
5. Кремнева О. Ю., Костенко И. А., Пачкин А. А., Данилов Р. Ю., Пономарев А. В., Ким Ю. С. Картирование распространения и развития фитопатогенов на пшенице и ячмене с использованием NextGIS // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3. С. 61–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-61-66
6. Попович В. В., Дунаева Е. А. Мониторинг и прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур по данным ДЗЗ на уровне районов Республики Крым // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 2 (38). С. 140–152. DOI: 10.5281/zenodo.12200306
7. Шпанев А. М., Смур В. В. Эффективность дифференцированного применения гербицидов в посевах озимой пшеницы // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 25–27. DOI: 10.31857/S2500262720040067
8. Якушев В. П., Канах Е. В., Якушев В. В., Матвеев Д. А., Русаков Д. В., Блохина С. Ю., Петрушин А. В., Митрофанов Е. П. Новые возможности автоматизации процесса обнаружения внутривидовой неоднородности по гиперспектральным снимкам и оптическим критериям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 3. С. 24–32. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-24-32
9. Acar E., Altun M. Classification of the agricultural crops using Landsat-8 NDVI parameters by support vector machine // Balkan journal of electrical and computer engineering. 2021. Vol. 9(1). P. 78–82. DOI: 10.17694/bajece.863147
10. Zhai W., Cheng Q., Duan F., Huang X., Chen Z. Remote sensing-based analysis of yield and water-fertilizer use efficiency in winter wheat management // Agricultural Water Management. 2025. Vol. 11, Article number: 109390. DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109390

References

1. Gulyanov Yu. A., Polyakov D. G. Zavisimost' fitometricheskikh parametrov polevykh agrotsenozov ot agrofizicheskikh pokazatelei pochvy [Dependence of phytometric parameters of field agrocenoses on agrophysical soil indicators] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2023. № 1(33). S. 19–33. DOI: 10.5281/zenodo.7898389
2. Eroshenko F. V., Bartalev S. A., Kulintsev V. V., Storchak I. G., Shestakova E. O., Simatin T. V. Vozmozhnosti regional'noi otsenki kachestva zerna ozimoi pshenitsy na osnove sputnikovykh dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Opportunities of regional estimation of winter wheat grain quality based on satellite remote sensing data] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2017. T. 14, № 7. S. 153–165. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-153-165
3. Zubarev Yu. N., Fomin D. S., Novikova T. V., Polyakova S. S., Fomin D. S. Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli s elementami tochnogo zemledeliya pri vozdel'nyanii bobovo-zlakovykh smesei s raznym sootnosheniem komponentov [Application of remote sensing Earth data with elements of precision farming in the cultivation of legume-cereal mixtures with different ratios of components] // Permskii agrarnyi vestnik. 2023. № 1(41). S. 20–28. DOI: 10.47737/2307-2873_2023_41_20
4. Kiryushin V. I. Organizatsiya territorial'nogo i vnutrikhozyaistvennogo zemleustroistva na landshaftno-ekologicheskoi osnove [Organization of territorial and intra-agricultural management on a landscape-ecological basis] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024. T. 38, № 5. S. 4–9. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_5_4
5. Kremneva O. Yu., Kostenko I. A., Pachkin A. A., Danilov R. Yu., Ponomarev A. V., Kim Yu. S. Kartirovanie rasprostraneniya i razvitiya fitopatogenov na pshenitse i yachmene s ispol'zovaniem NextGIS [Mapping the spread and development of phytopathogens on wheat and barley using NextGIS] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 3. S. 61–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-61-66
6. Popovich V. V., Dunaeva E. A. Monitoring i prognozirovaniye urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur po dannym DZZ na urovne raionov Respubliki Krym [Monitoring and forecasting of agricultural crop productivity based on remote sensing data at the districts of the Republic of Crimea] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2024. № 2 (38). S. 140–152. DOI: 10.5281/zenodo.12200306

7. Shpanev A. M., Smuk V. V. Effektivnost' differentsirovannogo primeneniya gerbitsidov v posevakh ozimoi pshenitsy [Efficiency of differentiated use of herbicides in winter wheat crops] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2020. № 4. S. 25–27. DOI: 10.31857/S2500262720040067
8. Yakushev V. P., Kanash E. V., Yakushev V. V., Matveenko D. A., Rusakov D. V., Blokhina S. Yu., Petrushin A. V., Mitrofanov E. P. Novye vozmozhnosti avtomatizatsii protsessa obnaruzheniya vnutripol'noi neodnorodnosti po giperspektral'nym snimkam i opticheskim kriteriyam [New possibilities for automating the process of detecting in-field heterogeneity using hyperspectral images and optical criteria] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2019. T. 16, № 3. S. 24–32. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-24-32
9. Acar E., Altun M. Classification of the agricultural crops using Landsat-8 NDVI parameters by support vector machine // Balkan journal of electrical and computer engineering. 2021. Vol. 9(1). P. 78–82. DOI: 10.17694/bajece.863147
10. Zhai W., Cheng Q., Duan F., Huang X., Chen Z. Remote sensing-based analysis of yield and water-fertilizer use efficiency in winter wheat management // Agricultural Water Management. 2025. Vol. 11, Article number: 109390. DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109390

Поступила: 13.05.25; доработана после рецензирования: 18.06.25; принята к публикации: 23.06.25.

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

Авторский вклад. Гулянов Ю. А. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ НОРМ ВЫСЕВА В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КБР

Х. Ш. Тарчоков, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур, ORCID ID: 0000-0002-6187-7354;

Ф. Х. Бжинаев, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией технологии возделывания полевых культур, ORCID ID: 0000-0002-6255-0396;

М. М. Чочаев, научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур, ORCID ID: 0000-0003-2442-6762;

О. Х. Матаева, научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур, o-mataeva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3590-5734

Институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр 360004, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224; e-mail: ishkbncran@yandex.ru

В условиях степной зоны Кабардино-Балкарии изучали новые сорта озимой мягкой пшеницы Алапат, Басият, Таулан (двуручка). Цель исследований – изучить влияние различных норм высева на урожайность новых сортов озимой пшеницы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии. Данную работу выполняли в 2023–2024 гг. в степной зоне Кабардино-Балкарии на опытном участке, расположенном в Терском районе КБР на предкавказских (карбонатных) черноземах тяжелого гранулометрического состава. В годы проведения научных исследований среднегодовое количество осадков составляло 360–400 мм. В двухфакторном полевом опыте в условиях севооборота короткой ротации изучены оптимальные нормы высева новых сортов озимой пшеницы Басият, Алапат и Таулан совместной селекции Института сельского хозяйства КБНЦ РАН и Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко. Актуальность проведенных научных исследований заключается в необходимости усовершенствования технологий возделывания новых перспективных сортов озимой пшеницы в севообороте короткой ротации. В соответствии с поставленной целью в работе решена задача по определению оптимальных норм высева новых сортов озимой мягкой пшеницы. Самую высокую урожайность при всех нормах высева, изучаемых в полевом опыте, показал сорт Таулан. При норме высева 5,0 семян/га этот сорт в 2024 г. показал максимальную урожайность – 53,0 ц/га, превышение над стандартом при той же норме высева составило 7,8 ц/га. Сорта Басият и Алапат в среднем за два года исследований также превосходили по урожайности стандарт – сорт Южанка. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что определение оптимальной густоты посева имеет важное значение при разработке технологий выращивания новых сортов сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: сорт, озимая пшеница, нормы высева, густота стеблестоя, урожайность, севооборот.

Для цитирования: Тарчоков Х. Ш., Бжинаев Ф. Х., Чочаев М. М., Матаева О. Х. Урожайность новых сортов озимой пшеницы в зависимости от различных норм высева в условиях степной зоны КБР // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 98–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-98-103.



PRODUCTIVITY OF NEW WINTER WHEAT VARIETIES DEPENDING ON DIFFERENT SEEDING RATES IN THE STEPPE REGIONS OF THE KBR

Kh. Sh. Tarchokov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher at the Laboratory of Field Crops Cultivation Technology, ORCID ID: 0000-0002-6187-7354;

F. Kh. Bzhinaev, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for cultivation technologies of field crops, ORCID ID: 0000-0002-6255-0396;

M. M. Chochaev, researcher of the laboratory for cultivation technologies of field crops, ORCID ID: 0000-0003-2442-6762;

O. Kh. Mataeva, researcher of the laboratory for cultivation technologies of field crops, o-mataeva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3590-5734

Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI "Federal Research Center "Kabardino-Balkaria Research Center of the Russian Academy of Sciences", 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Kirov Str., 224; e-mail: ishkbncran@yandex.ru

There have been studied new winter common wheat varieties 'Alapat', 'Basiyat', 'Taulan' (facultative) in the conditions of the steppe regions of Kabardino-Balkaria. The purpose of the current study was to establish the effect of different seeding rates on productivity of new winter wheat varieties in the conditions of the steppe regions of Kabardino-Balkaria. The study was carried out on the pre-Caucasian (carbonate) blackearth of heavy granulometric composition of the experimental plots located in the Tersky district of the KBR in the steppe regions of Kabardino-Balkaria in 2023–2024. During the years of the study, the mean annual precipitation was 360–400 mm. In a two-factor field trial under short-rotation crop rotation, there have been studied optimal seeding rates of the new winter wheat varieties 'Basiyat', 'Alapat' and 'Taulan', jointly developed by the Institute of Agriculture of the KBSC RAS and the P.P. Lukyanenko National Grain Center. The relevance of the conducted research was in the necessity

to improve the cultivation technologies for new promising winter wheat varieties in short-rotation crop rotation. In accordance with the purpose, there has been solved the problem of determining the optimal seeding rates for the new winter common wheat varieties. The variety 'Taulan' has showed the largest productivity at all seeding rates in the field trials. At a seeding rate of 5.0 seeds/ha, this variety produced the maximum of 53.0 hwt/ha in 2024, the excess over the standard at the same seeding rate was 7.8 hwt/ha. The varieties 'Basiyat' and 'Alamat' also exceeded productivity of the standard variety 'Yuzhanka' on average over 2 years of the study. The results of the conducted research allow concluding that determining the optimal seeding density is important in developing technologies for growing new varieties of agricultural crops.

Keywords: variety, winter wheat, seeding rates, stem density, productivity, crop rotation.

Введение. Одной из самых значимых продовольственных культур в мире и в нашей стране является озимая мягкая пшеница (Вершинина, 2017). Особенно роль озимой пшеницы важна в обеспечении продовольственной безопасности страны на фоне санкционного давления извне. Кроме того, в последние 15–20 лет зерно озимой пшеницы в большом количестве экспортируется за пределы Российской Федерации. В связи с этим повышение валового сбора и урожайности озимой пшеницы – одна из приоритетных задач сельскохозяйственного производства. Важнейшим условием решения этой задачи является создание новых более урожайных и технологичных сортов с улучшенными качествами зерна, устойчивых к абио- и биофакторам среды. Природно-климатические условия Российской Федерации различны и многообразны, большая часть посевных площадей, занятых озимой пшеницей, находится в зоне недостаточного увлажнения с жарким климатом. Кроме того, зачастую в такой зоне наблюдаются зимние оттепели с возвратом холодов, а также весенние заморозки. Все это требует разработки новых технологий выращивания конкретно для каждой зоны и каждого нового сорта (Силаева и др., 2019).

Цель исследований – изучить влияние различных норм высева на урожайность новых сортов озимой пшеницы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии.

Создание и внедрение новых сортов предполагает разработку технологии выращивания для конкретного сорта. Одним из главных элементов такой технологии является определение нормы высева семян (Попов и др., 2022; Фадеева и др., 2019; Якушев и др., 2022). Особенно значимость определения оптимальной нормы высева семян возрастает в условиях юга России в зоне с жарким и засушливым климатом, в так называемой зоне рискованного земледелия (Бельтюков и др., 2017; Seminchenko et al., 2022). Засухи, суховеи и периодически повторяющиеся засушливые годы приводят к снижению урожая и валового сбора зерна озимой пшеницы в южных регионах нашей страны. Такого рода экстремальные условия производства вызывают необходимость противостояния им и поиск методов решения этой задачи. Недостаток влаги и пересушенная почва в оптимальные, научно-обоснованные для посева сроки не всегда позволяют получить полные своевременные всходы с осени по различным предшествующим, и возникает необходимость передвинуть сроки посева на более

поздние в ожидании выпадения атмосферных осадков, необходимых для увлажнения почвы до оптимального значения (Myrzabayeva et al., 2022; Дрепа и др., 2021). Расширение площадей посева озимой пшеницы увеличивает продолжительность проведения посевных мероприятий (Flohr et al., 2018). Кроме того, условия засушливой осени, и вследствие этого поздний срок посева, снижают урожайность озимой пшеницы (Мельник, 2020). Для компенсации снижения всхожести и жизнеспособности высеванных семян при поздних сроках посева и недостатке влаги большинство исследователей рекомендуют увеличивать норму высева семян озимой пшеницы (Шестакова и др., 2018; Shahab et al., 2020). Отметим, что при этом обеспечивается необходимая густота стеблестоя к уборке и увеличение урожайности зерна, что повышает экономическую эффективность выращивания зерна озимой пшеницы (Вошедский и др., 2022).

В связи с вышеизложенным отметим, что исследования по усовершенствованию технологий возделывания новых перспективных сортов озимой пшеницы являются актуальными для условий степной зоны.

Материалы и методы исследований. Исследования выполняли методом полевого опыта. Объектом исследований служили новые сорта озимой пшеницы совместной селекции ИСХ КБНЦ РАН и Национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко.

Сорт Алапат – среднеранний короткостебельный (90–95 см), устойчив к полеганию, отличается высокой засухо- и жароустойчивостью. Средняя урожайность в Центрально-Черноземном регионе – 73,0 ц/га. Максимальная урожайность по региону – 108,2 ц/га, получена в Курской области в 2023 году. Средняя урожайность в Северо-Кавказском регионе – 67,0 ц/га. Максимальная урожайность по региону – 98,4 ц/га, получена в Ставропольском крае в 2022 году. Имеет хорошие технологические и хлебопекарные качества. Содержание белка 14,4–14,6 %; клейковины – 26,0 %; натура зерна – 780–815 г/л; масса 1000 зерен – 43,0–45,0 г.

Сорт Таулан (двуручка) – устойчив к полеганию, по зимостойкости близок к Безостой-1. Средняя урожайность по Северо-Кавказскому региону – 50,4 ц/га. Максимальная урожайность в озимом севе – 88,0 ц/га, получена в Ставропольском крае в 2019 г., в Ростовской области в яровом севе в 2019 г. – 30,0 ц/га.

Сорт Басият – среднеспелый, разнотипность лютестенс, устойчив к пыльной головне,

желтой ржавчине, восприимчив к фузариозу колоса и твердой головне. Средняя урожайность в Центрально-Черноземном регионе – 73,6 ц/га. Максимальная урожайность по региону – 117,4 ц/га, получена в Курской области в 2023 году. Относится к сильной пшенице с натурой зерна 796,0 г/л и массой 1000 зерен 42,3 г. Содержание клейковины – 29,1 %; сырого протеина – 15,5 %.

Работу по данной научно-исследовательской теме проводили в степной зоне Кабардино-Балкарии, которая относится к зоне рискованного земледелия. Опытный участок

представлен предкавказским (карбонатным) черноземом тяжелого гранулометрического состава с содержанием гумуса в 0–20 см слое почвы 3,0–3,5 %, P_2O_5 – 0,14–0,27 %, K_2O – 2,0–2,6 % (по Мачигину), pH – 6,7–7,0 единиц. Количество осадков за вегетационный период озимых (октябрь–июнь) составляет 443,0 мм (среднемноголетние данные агрометеорологического поста «Куян», пос. Опытный Терского р-на КБР). Погодно-климатические условия в годы проведения опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Метеорологические показатели за годы исследований (по данным агрометеорологического поста «Куян», пос. Опытный Терского р-на КБР)
Table 1. Weather indicators during the years of study (according to the data of the agrometeorological station “Kuyan”, v. of Opytny, Tersky district, KBR)

Месяцы	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Относительная влажность воздуха, %	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Относительная влажность воздуха, %
	вегетационный период 2022–2023 г.			вегетационный период 2023–2024 г.		
Сентябрь	27,1	4,2	56,0	19,7	23,1	69
Октябрь	15,6	17,8	79,9	12,9	14,4	77
Ноябрь	10,3	15,1	73,1	7,7	56,6	88
Декабрь	5,6	3,3	79,0	2,6	19,7	90
Январь	1,6	17,2	82	-2,0	15,3	88
Февраль	4,5	7,08	78	3,4	5,1	84
Март	2,9	17,7	78	4,9	20,2	83
Апрель	14,3	14,4	70	16,3	19,3	69
Май	16,7	59,5	69	15,5	41,1	74
Июнь	23,8	80,5	70	25,0	62,2	65
Среднее за вегетационный период	12,2	–	73,5	10,6	–	78,7
Сумма осадков за вегетационный период	–	236,8	–	–	277,0	–
Среднемноголетние данные (норма)	12,6	451,0	75,9	12,6	451,0	75,9

Так, средняя температура воздуха за период вегетации с октября 2022 г. по июнь 2023 г. была несколько ниже по сравнению с многолетними показателями, то есть фактически на уровне нормы (10,6 и 12,6 °С). Количество выпавших осадков за период вегетации пшеницы отмечено ниже нормы на 210,4 мм по сравнению со среднемноголетними данными (443,0 мм), но распределение по месяцам было неравномерным – влажная осень и засушливая весна, но в конце вегетационного периода выпало большое количество осадков. Относительная влажность воздуха в этот период была в пределах нормы и не повлияла на формирование урожая.

В период осень 2023 г. – лето 2024 г. средняя температура воздуха оказалась также на уровне многолетних значений – 10,6 и 12,6 °С соответственно. Количество выпавших осадков за период составляло 253,9 мм, что ниже на 189,1 мм по сравнению со среднемноголетними данными (443,0 мм), а относительная влажность воздуха – 78,7 %, что выше среднемноголетних (75,9 %) на 2,8 %. Отметим, что период осень

2023 г. – лето 2024 г. характеризовался более благоприятными погодными условиями (большее количество осадков, их относительно равномерное распределение по вегетационному периоду), что в конечном итоге сказалось на уровне урожайности изучаемых сортов озимой пшеницы.

Исследования проводили в стационарном севообороте короткой ротации, расположенном на научно-производственном участке № 2 Института сельского хозяйства КБНЦ РАН в Терском районе КБР. В качестве стандарта был использован сорт озимой пшеницы Южанка.

Посев проводили в третьей декаде сентября селекционной сеялкой «Клен-1,5» на глубину 5–6 см. Уборку опытных делянок выполняли малогабаритным селекционным комбайном «Terrion SR 2010».

Уборку проводили в конце июня – начале июля. Технология возделывания озимых культур была общепринятой для степной зоны КБР. Предшественник – горох на зерно. Влагозарядковый полив проведен перед посевом, поливная норма – 1200–1500 м³/га, удо-

брения (азофоска 16:16:16) в дозе 300 кг/га в физическом весе были внесены РУМом. В период вегетации проведены подкормки аммиачной селитрой в дозе 225 кг/га в физическом весе. Посевы обработаны фунгицидами и инсектицидами.

Площадь делянок: общая – 65,0, учетная – 40,0 м², повторность 4-кратная. Анализы, наблюдения и учеты проводили в соответствии с «Методикой полевого опыта» (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. В двухфакторном полевом опыте изучены оптимальные нормы высева новых сортов озимой пшеницы Басият, Алапат и Таулан совместной селекции Института сельского хозяйства КБНЦ РАН и Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко.

Результаты дисперсионного анализа данных показали существенные различия между вариантами опыта, что указывает на достоверность полученных результатов (табл. 2).

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа результатов исследований (для всех сортов и вариантов опыта НСР₀₅ – 0,14; точность опыта – 1,77%)
Table 2. Results of the analysis of variance of the study (for all varieties and trial variants HSR₀₅ – 0.14; trial accuracy – 1.77 %)

Источник вариации	Дисперсия	F-критерий	
		фактический	табличный (для 5 %)
Фактор А (сорта)	1,111053	83,826744	3,4
Фактор В (нормы высева)	0,060093	4,5338583	3
Взаимодействие факторов АВ	0,868286	65,510399	2,6

В таблице 3 представлена зависимость урожайности зерна озимой пшеницы от нормы высева семян.

Результаты исследований показывают, что в 2023 г. урожайность сортов озимой пшеницы существенно меняется в зависимости от нормы высева. Так, при норме высева 3,0 млн семян/га самую высокую урожайность показал сорт Таулан – 4,15 т/га, урожайность стандарта равнялась 3,58 т/га. Аналогичная

тенденция наблюдается при норме высева 4,0 и 5,0 млн семян/га – 4,20 и 4,30 т/га соответственно. Урожайность стандарта при тех же нормах высева равнялась 3,80 и 3,50 т/га соответственно. При норме высева 5,0 млн новыми сортами показана максимальная урожайность: у сорта Басият – 4,00 т/га, у сорта Алапат – 4,15 т/га и у сорта Таулан – 4,30 т/га. Отметим, что самая большая урожайность выявлена у сорта-двуручки Таулан.

Таблица 3. Влияние нормы высева на урожайность зерна новых сортов озимой пшеницы (НПУ № 2, степная зона, 2023–2024 гг., т/га)
Table 3. The effect of seeding rate on grain productivity of the new winter wheat varieties (NPU No. 2, steppe region, 2023–2024, t/ha)

Норма высева, млн семян/га (фактор А)	Сорт (фактор В)												НСР _{0,5} по фактору В		
	Южанка, st			Басият			Алапат			Таулан			2023 г.	2024 г.	Среднее
	2023 г., т/га	2024 г., т/га	Среднее, т/га	2023 г., т/га	2024 г., т/га	Среднее, т/га	2023 г., т/га	2024 г., т/га	Среднее, т/га	2023 г., т/га	2024 г., т/га	Среднее, т/га			
3,0	3,58	4,60	4,09	3,75	4,71	4,23	3,80	4,83	4,32	4,15	5,14	4,65	0,15	0,15	0,14
4,0	3,80	4,81	4,31	3,96	4,90	4,43	3,80	4,90	4,44	4,20	5,21	4,71	0,17	0,12	0,13
5,0	3,50	4,52	4,01	4,00	5,03	4,52	4,15	5,11	4,63	4,30	5,30	4,80	0,13	0,13	0,14
НСР ₀₅ по фактору А	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,15	0,15	0,12	0,15	0,10	0,15	0,16	–	–	–

Аналогичная картина наблюдается и в 2024 году. Так, максимальная урожайность стандарта Южанка отмечена при норме высева 4,0 млн семян/га – 4,81 т/га. При этом показатели урожайности новых сортов Басият, Алапат и Таулан при одинаковых нормах высева были выше, чем у стандарта. Максимальная урожайность (5,30 т/га) отмечена у сорта Таулан при густоте 5,0 млн семян/га.

В результате изучения норм высева на урожайность полегающих сортов не наблюдалось.

Сравнение сортов по урожайности за годы исследований показало, что наиболее продуктивным в среднем за два года является сорт

Таулан при норме высева 5,0 млн семян/га – 4,80 т/га.

Дисперсионный анализ выявил, что наиболее существенное влияние на урожайность оказала норма высева (фактор А) – 34,3 %. Сорта в меньшей степени повлияли на показатель продуктивности – доля фактора В – 31,2 %. Взаимосвязь между нормами высева (фактор А) и сортами (фактор В) – 12,4 %.

Выводы. Приведенные данные свидетельствуют о том, что у стандарта Южанка оптимальной нормой высева является 4,0 млн семян/га. Такая норма высева формирует урожайность зерна от 3,80 т/га в 2023 г. до 4,81 т/га в 2024 году.

Для новых сортов установлена оптимальная норма 5,0 млн семян/га.

Оптимальной нормой посева новых сортов озимой пшеницы Басият, Алапат, Таулан по данным двух лет изучения следует считать 5,0 млн/га семян с формированием урожая зерна за 2 года исследований в пределах 4,52–5,30 т/га, при норме посева 3,0 млн семян/га эти данные не превышают 4,23–4,65 т/га.

Для получения максимальных урожаев зерна новые сорта озимой пшеницы Басият, Алапат и Таулан в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии рекомендуется высевать с нормой 5,0 млн семян на гектар. Высокая

урожайность и адаптивность, устойчивость к стрессорам, полевая устойчивость к полеганию новых перспективных сортов озимой пшеницы Алапат, Басият и Таулан дают основания рекомендовать их для широкого использования в производстве по Северо-Кавказскому региону нашей страны.

Финансирование. Работа выполнена за счет бюджетных средств в рамках государственного задания согласно тематическому плану НИР по теме № FMEW-2022-0021 «Усовершенствовать технологии возделывания новых сортов и гибридов основных полевых культур в условиях степной зоны КБР».

Библиографический список

1. Бельтюков Л. П., Хронюк В. Б., Кувшинова Е. К., Бершанский Р. Г., Татьяначенко И. С., Денисенко В. В. Основы технологии производства зерна в засушливых условиях юга России // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 1–1(37). С. 46–52.
2. Вершинина Т. С. Влияние срока посева на качество зерна озимой пшеницы // Пермский аграрный вестник. 2017. № 4(20). С. 52–58.
3. Вошедский Н. Н., Кулыгин В. А., Целуйко О. А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов озимой пшеницы в Ростовской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3(67). С. 125–134. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-15
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 2014. 351 с.
5. Дрепа Е. Б., Голосная Е. Л., Голубь А. С., Пшеничный П. Н., Калмыкова Д. О. Оптимизация элементов технологии выращивания озимой пшеницы с применением технологии No-Till // Известия ТСХА. 2021. Вып. 5. С. 147–157. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-147-157
6. Мельник А. Ф. Влияние аридности климата на технологии возделывания озимой пшеницы // Вестник аграрной науки. 2020. № 1(82). С. 41–46. DOI: 10.15217/48484
7. Попов А. С., Сухарев А. А., Овсянникова Г. В. Влияние сроков посева и норм посева на урожайность и качество зерна сорта мягкой озимой пшеницы Универ // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23(5). С. 641–654. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.641-654
8. Силаева Л. П., Кульчикова Ж. Т., Баринаева Е. В. Совершенствование размещения производства пшеницы – основа повышения его устойчивости // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 186–193.
9. Фадеева И. Д., Тагиров М. Ш., Газизов И. Н. Влияние сроков посева и норм посева на урожайность новых сортов озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 3. С. 21–24. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10305
10. Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Оганян Л. Р. Реакция новых сортов озимой пшеницы на различные элементы технологии выращивания // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 8. С. 35–38. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10809
11. Якушев В. П., Канаш Е. В., Русаков Д. В., Якушев В. В., Блохина С. Ю., Петрушин А. Ф., Блохин Ю. И., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 98–112. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.98rus
12. Flohr B. M., Hunt J. R., Kirkegaard J. A., Evans J. R., Trevaskis B., Zwart A., Swan A., Fletcher A. L., Rheinheimer B. Fast winter wheat phenology can stabilise flowering date and maximise grain yield in semi-arid Mediterranean and temperate environments // Field Crops Research. 2018. Vol. 223. P. 12–25. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.03.021
13. Myrzabayeva G., Idrisova A. Influence of the terms and rates of sowing winter wheat in the conditions of the south-east of Kazakhstan // Sciences of Europe. Vol. 98. P. 12–20. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.6973732
14. Semichenko E. V., Solonkin A. V. Influence of climatic factors on the crop of winter wheat and the spring barley in the conditions of the dry steppe of the lower Volga region // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14, № 3. P. 58–74. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-3-58-74
15. Shahab F., Coulter J. A., Ye C., Wu W. Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate // European Journal of Agronomy. 2020. Vol. 119, Article number: 126120. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126120

References

1. Bel'tyukov L. P., Khronyuk V. B., Kuvshinova E. K., Bershanskii R. G., Tat'yanchenko I. S., Denisenko V. V. Osnovy tekhnologii proizvodstva zerna v zasushlivykh usloviyakh yuga Rossii [Fundamentals of grain production technology in arid conditions of southern Russia] // Vestnik agrarnoi nauki Dona. 2017. № 1–1(37). S. 46–52.
2. Vershinina T. C. Vliyanie sroka poseva na kachestvo zerna ozimoi pshenitsy [The effect of sowing time on winter wheat grain quality] // Permskii agrarnyi vestnik. 2017. № 4(20). S. 52–58.

3. Voshedskii N. N., Kulygin V. A., Tseluiko O. A. Vliyanie elementov tekhnologii vzdelyvaniya na urozhainost' novykh sortov ozimoi pshenitsy v Rostovskoi oblasti [The effect of cultivation technology elements on productivity of new winter wheat varieties in the Rostov region] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2022. № 3(67). S. 125–134. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-15
4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 2014. 351s.
5. Drepa E. B., Golosnaya E. L., Golub' A. S., Pshenichnyi P. N., Kalmykova D. O. Optimizatsiya elementov tekhnologii vyrashchivaniya ozimoi pshenitsy s primeneniem tekhnologii No-Till [Optimization of elements of winter wheat cultivation technology using No-till technology] // Izvestiya TSKhA. 2021. Vyp. 5. S. 147–157. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-147-157
6. Mel'nik A. F. Vliyanie aridnosti klimata na tekhnologii vzdelyvaniya ozimoi pshenitsy [The effect of climate aridity on winter wheat cultivation technologies] // Vestnik agrarnoi nauki. 2020. № 1(82). S. 41–46. DOI: 10.15217/48484
7. Popov A. S., Sukharev A. A., Ovsyannikova G. V. Vliyanie srokov poseva i norm vyseva na urozhainost' i kachestvo zerna sorta myagkoi ozimoi pshenitsy Univer [The effect of sowing dates and seeding rates on productivity and grain quality of the winter common wheat variety 'Univer'] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. № 23(5). S. 641–654. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.641-654
8. Silaeva L. P., Kul'chikova Zh. T., Barinova E. V. Sovershenstvovanie razmeshcheniya proizvodstva pshenitsy – osnova povysheniya ego ustoichivosti [Improving the placement of wheat production is the basis for improving its sustainability] // Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2019. № 2. S. 186–193.
9. Fadeeva I. D., Tagirov M. Sh., Gazizov I. N. Vliyanie srokov poseva i norm vyseva na urozhainost' novykh sortov ozimoi pshenitsy [The effect of sowing dates and seeding rates on productivity of new winter wheat varieties] // Zemledelie. 2019. № 3. S. 21–24. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10305
10. Shestakova E. O., Eroshenko F. V., Storchak I. G., Oganyan L. R. Reaktsiya novykh sortov ozimoi pshenitsy na razlichnye elementy tekhnologii vyrashchivaniya [The response of new winter wheat varieties to various elements of cultivation technology] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 8. S. 35–38. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10809
11. Yakushev V. P., Kanash E. V., Rusakov D. V., Yakushev V. V., Blokhina S. Yu., Petrushin A. F., Blokhin Yu. I., Mitrofanova O. A., Mitrofanov E. P. Korrelyatsionnye zavisimosti mezhdru vegetatsionnymi indeksami, urozhajem zerna i opticheskimi kharakteristikami list'ev pshenitsy pri raznom soderzhanii v pochve azota i gustote poseva [Correlation between vegetation indices, grain yield and optical characteristics of wheat leaves with different nitrogen content in soil and sowing density] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 1. S. 98–112. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.1.98rus
12. Flohr B. M., Hunt J. R., Kirkegaard J. A., Evans J. R., Trevaskis B., Zwart A., Swan A., Fletcher A. L., Rheinheimer B. Fast winter wheat phenology can stabilise flowering date and maximise grain yield in semi-arid Mediterranean and temperate environments // Field Crops Research. 2018. Vol. 223. P. 12–25. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.03.021
13. Myrzabayeva G., Idrisova A. Influence of the terms and rates of sowing winter wheat in the conditions of the south-east of Kazastan // Sciences of Europe. Vol. 98, P. 12–20. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.6973732
14. Seminchenko E. V., Solonkin A. V. Influence of climatic factors on the crop of winter wheat and the spring barley in the conditions of the dry steppe of the lower Volga region // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14, № 3. P. 58–74. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-3-58-74
15. Shahab F., Coulter J. A., Ye S., Wu W. Yield penalty due to delayed sowing of winter wheat and the mitigatory role of increased seeding rate // European Journal of Agronomy. 2020. Vol. 119, Article number: 126120. DOI: 10.1016/j.eja.2020.126120

Поступила: 26.03.25; доработана после рецензирования: 23.06.25; принята к публикации: 24.06.25.

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. Тарчоков Х. Ш. – концептуализация исследования; Бжинаев Ф. Х. – подготовка опыта; Бжинаев Ф. Х., Матаева О. Х. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Тарчоков Х. Ш., Чочаев М. М. – анализ данных и их интерпретация; Матаева О. Х. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО СЛАБОГУМУСИРОВАННОГО И УРОЖАЙНОСТЬ В ЗОНЕ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

А. А. Гонгало, кандидат сельскохозяйственных культур, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, gongalo_a@niishk.site, ORCID ID: 0000-0002-3098-3218;

В. В. Реент, младший научный сотрудник лаборатории земледелия, reent_val@niishk.site, ORCID ID: 0009-0002-4424-5360

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,

295043, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150; e-mail: priemnaya@niishk.site

Исследования по влиянию технологии возделывания на агрофизические свойства чернозема южного малогумусированного на лессовидных легких глинах в условиях континентального климата проводились на опытных полях ФГБУН «НИИСХ Крыма». Метеоусловия в годы исследований отличались по температуре, количеству осадков. Исследования проводились в стационарном полевом севообороте в 2017–2024 годах. Целью исследования было сравнительное изучение традиционной технологии, рекомендованной для условий Крыма, с технологией прямого посева. По данным агрометеорологической станции Клепинино, среднегодовая температура воздуха за 2017–2024 гг. превышала среднемноголетнюю норму на 1,3–3,4 °С. Количество осадков, выпавших в 2017, 2020 и 2024 годах, можно оценивать как экстремально засушливые условия. Три года из восьми лет наблюдений, были близки к средне климатическому показателю (2019, 2021, 2022), а сумма осадков 2018 и 2023 годов, превысила показатель на 116 и 118 %. За исследуемые годы доступная влажность по технологиям была одинаковой, небольшие отличия находились в пределах погрешности. Равновесная плотность в слое почвы 0–30 см по обеим технологиям находилась в оптимальных значениях и составляла 1,27–1,28 г/см³. Инокуляция семян способствовала достоверному увеличению урожая на варианте прямого посева по льну масличному на 0,06 т/га, на ячмене озимом составила 0,31 т/га, на сорго зерновом – 0,14 т/га. Среднегодовая продуктивность севооборота при прямом посеве, где применялась инокуляция семян Микробиоком-Агро самая высокая – 2,38 т. зерновых единиц с 1 га. – 2,79 т. кормопротеиновых единиц т. Полученные результаты исследования могут быть рекомендованы при внедрении ресурсо- и энергосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур в агросистемах степного Крыма, с обязательной инокуляцией семян полифункциональными микробными препаратами.

Ключевые слова: технология прямого посева, влажность почвы, плотность почвы, урожайность, севооборот, продуктивность.

Для цитирования: Гонгало А. А., Реент В. В. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства чернозема южного слабогумусированного и урожайность в зоне недостаточного увлажнения // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 104–110. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-104-110.



A CULTIVATION TECHNOLOGY EFFECT ON THE AGROPHYSICAL PROPERTIES OF LOW-HUMUS SOUTHERN BLACKEARTH AND CROP PRODUCTIVITY IN A ZONE OF INSUFFICIENT MOISTURE

A. A. Gongalo, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for agriculture, gongalo_a@niishk.site, ORCID ID: 0000-0002-3098-3218;

V. V. Reent, junior researcher of the laboratory for agriculture, reent_val@niishk.site, ORCID ID: 0009-0002-4424-5360

Federal State Budget Scientific Institution “Research Institute of Agriculture in Crimea”,

295043, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Str; e-mail: priemnaya@niishk.site

There has been studied the cultivation technology effect on the agrophysical properties of low-humus southern blackearth on the forest-like light clays in continental climate conditions on the experimental plots of the FSBSI “Research Institute of Agriculture in Crimea”. Weather conditions during the years of study varied in temperature and precipitation. The research was conducted in a stationary field crop rotation from 2017 to 2024. The purpose of the study was to compare the traditional technology recommended for Crimean conditions with the direct seeding technology. The average annual air temperature in 2017–2024 exceeded the annual average by 1.3–3.4 °C according to the Klepinino agrometeorological station dates. The precipitation amount in 2017, 2020 and 2024 can be estimated as having formed extremely arid conditions. The average climatic indicators for three of the eight years of observations (2019, 2021, 2022) were close to the average climatic indicator. The amount of precipitation in 2018 and 2023 exceeded the indicator by 116 and 118%. During the years of study, the available moisture was the same in different technologies, with minor differences within the margin of error. The equilibrium density in the 0–30 cm soil layer for both technologies was within optimal values and amounted to 1.27–1.28 g/cm³. The seeds inoculation to a significant increase in yield on the direct sowing option for oilseed flax by 0.06 t per ha, on winter barley it amounted to 0.31 t per ha, on grain sorghum by 0.14 t per ha has contributed. The average annual productivity

of the crop rotation with direct seeding, where seed inoculation with Microbiokom-Agro was used, was the largest with 2.38 tons of grain units per 1 ha, and with 2.79 tons of feed protein units per 1 ha. The obtained research results for the introduction of resource- and energy-saving technologies for crop cultivation in the agro-systems of the steppe Crimea can be recommended with mandatory inoculation of seeds with multifunctional microbial preparations.

Keywords: direct seeding technology, soil moisture, soil density, yield, crop rotation, productivity.

Введение. Современные системы обработки почвы являются важной составляющей при успешном ведении сельского хозяйства. Обострение экологических проблем в России и в мире в целом диктует нам необходимость дифференцированно подходить к системам земледелия (Горянин и др., 2024; Tubalov et al., 2023).

Основной обработкой почвы в Республике Крым с момента освоения целинных земель и до середины 70-х гг. XX века была разноглубинная вспашка с оборотом пласта. Такая система обработки сопровождалась частыми пыльными бурями. В отдельные годы с крымских полей терялось до 90 млн м³ плодородного слоя, что поставило перед учеными задачу разработать для условий степного Крыма почвозащитную, влаго-, и энергосберегающую систему обработки почвы.

Под руководством В. И. Зинченко на протяжении 30 лет стационарных опытов была разработана научно обоснованная система земледелия Крыма, в основе которой лежал вариант с сочетанием мелких и поверхностных обработок с глубокой вспашкой в поле черного пара. Основным видом органического удобрения, вносимого под черный пар, был навоз КРС, который вносился (в среднем на 1 га севооборотной площади) на суходоле до 10 т, а на орошении – до 15 т. Сегодня на гектар пашни вносится меньше 0,4 т органических удобрений, что в последние годы привело к росту эрозийных процессов и угнетению почвенной микрофлоры, а содержание гумуса снизилось в среднем на 0,5–0,8 % (Гонгало, 2025). Поэтому поиск путей предотвращения подобных процессов актуален.

В связи с этим растет интерес к ресурсосберегающим технологиям, к которым относится и технология прямого посева, набирающая популярность как в нашей стране (Гоноченко и др., 2025; Дубовик и Дубовик, 2024), так и по всему миру (Hongyu et. al., 2025). Для сохранения черноземов южных слабогумусированных, которые содержат менее 4 % гумуса, актуальной проблемой является пополнение запасов органического вещества почвы с помощью минимизирования обработки почвы, применяя в том числе и прямой посев (Дементьев и Фадеев, 2024).

Цель наших исследований – сравнительное изучение традиционной технологии, рекомендованной для условий Крыма, с технологией прямого посева.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на опытной полеотделении полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательского института Крыма» (с. Клепинино Красногвардейского района, координаты 45°31'47.3"с. ш.; 34°11'48.0" в. д.). Этот

район относится к степи южной зоны недостаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков составляет 428 мм. Около 60 % от годового их объема выпадает на теплый период, часто в виде кратковременных ливней летом.

Сумма среднесуточных температур воздуха выше 10 °С – 3350–3500 °С, гидротермический коэффициент 0,4–0,8. Средняя продолжительность безморозного периода в воздухе составляет 195–200 дней, на поверхности почвы – 170–175 дней. Количество дней с относительной влажностью воздуха ≤ 30 % в среднем составляет 20, количество дней с суховеями в теплый период (апрель–октябрь) достигает 20–30. Количество дней с засухой в приземном слое воздуха в период вегетации сельскохозяйственных культур за 30 лет метеонаблюдений отмечают от 300–350 дней. Климатические условия проведения полевого опыта относятся к умеренно-холодным, полусухим, континентальным. Весна характеризуется значительной сухостью и частыми холодными ветрами восточного (22 %) и северо-восточного (20 %) направления. Лето обычно жаркое, засушливое. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,5 °С, в последние годы зафиксирована тенденция к ее повышению (Прудко и Адаменко, 2011).

Почва опыта представлена черноземом южным слабогумусированным среднесиловым на лессовидных легких глинах в пятипольном плодосменном севообороте. Мощность гумусового слоя (горизонт А) составляет 24–36 см, всего 57–70 см. В пахотном слое содержится 2,4–2,7 % гумуса (по Тюрину), N-NO₃ – 5,2 мг/100 г почвы, подвижных форм P₂O₅ – 1–2,5 мг/100 г почвы, K₂O – 42 мг/100 г почвы (по Мачигину); валовых: азота (N) – 0,11–0,12 %, фосфора (P) – 0,20 %, калия (K) – 1,96 %. Сумма поглощенных щелочей – 28,5–38,3 мг-экв/100 г почвы. Реакция почвенного раствора слабощелочная в верхнем горизонте (рН 7,7–7,9). У выщелоченных черноземов линия вскипания от HCl проходит на 40 см.

Севооборот развернут в пространстве всеми пятью полями со следующим чередованием культур: по традиционной технологии – черный пар – озимая пшеница – лен масличный – ячмень озимый – сорго зерновое, на прямом посеве имеется отличие по предшественнику озимой пшеницы – горох зерновой. Первая ротация севооборота (5 лет) завершилась в 2021 г., с 2022 г. проходит вторая ротация. Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов рендомизированное с расщеплением делянок, шахматное в два яруса. Общая площадь опытной делянки составляла 150 м² (6 × 25), учетная площадь – 50 м².

Схема опыта включала следующие варианты: технология возделывания (фактор А) традиционная технология (поверхностная обработка – дискование 10–12 см + культивация 5 см; под черный пар вносили 30 т/га перепревшего навоза КРС с заделкой в почву на 22 см), прямой посев (без обработки почвы) и предпосевная обработка семян (фактор В) контроль – семена обрабатывали химическим протравителем, на изучаемом варианте предпосевную обработку проводили комплексным микробным препаратом Микробиоком-Агро.

Расход препарата Микробиоком-Агро – 100 мл/т семян, он обладает полифункциональными свойствами (его основу составляют азот-, фосфорфиксирующие бактерии и биофунгицид).

Традиционная технология возделывания сельскохозяйственных культур общепринятая для региона. Сев культур проводили сеялкой СЗ-3,6 (ширина междурядий 15 см), пропашной культуры сорго – СП КЛЕН-4,2 (ширина междурядий 70 см). По прямому посеву не проводили механической обработки почвы, кроме посева сеялкой ДОН-114 (ширина междурядий 21 см). На варианте прямого посева после уборки предшественника и перед посевом культуры проводили обработку полянок препаратом сплошного спектра действия (Торнадо 540, BP) нормой 2 л/га. Колтер сеялки обеспечил про-

резание пожнивных остатков и создание борозды на линии посева. Основное внесение минеральных удобрений (NP)₆₀ в виде аммофоса N₁₂P₅₂ вносили перед посевом по классической технологии с заделкой в почву на глубину 10–12 см, по прямому посеву – одновременно с посевом сеялкой ДОН-114. Весеннюю подкормку аммиачной селитрой (N)₃₀ проводили по мерзлоталой почве агрегатом РУМ-1000. Обработки посевов гербицидами, фунгицидами и инсектицидами выполняли согласно технологической карте культур. Норма высева культур: пшеницы – 4, ячменя – 3,5, гороха – 1,2, льна – 3,5, сорго – 0,8 млн всхожих семян на 1 гектар. Продуктивность севооборота рассчитывали согласно рекомендациям Т. В. Князева и В. С. Ульянова (2016). Запасы продуктивной влаги в почве на глубину 1 м определяли послойно (каждые 10 см) термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89). Плотность почвы рассчитывали методом цилиндров (Доспехов, 2014) послойно на глубину 30 см в период посева культур. Учеты и статистическую обработку полевых опытов осуществляли по методике Б. А. Доспехова (2014) с использованием программы Microsoft Excel.

По данным агрометеорологической станции Клепинино среднегодовая температура воздуха за 2017–2024 гг. превышала средне многолетнюю норму на 1,3–3,4 °C (рис. 1).

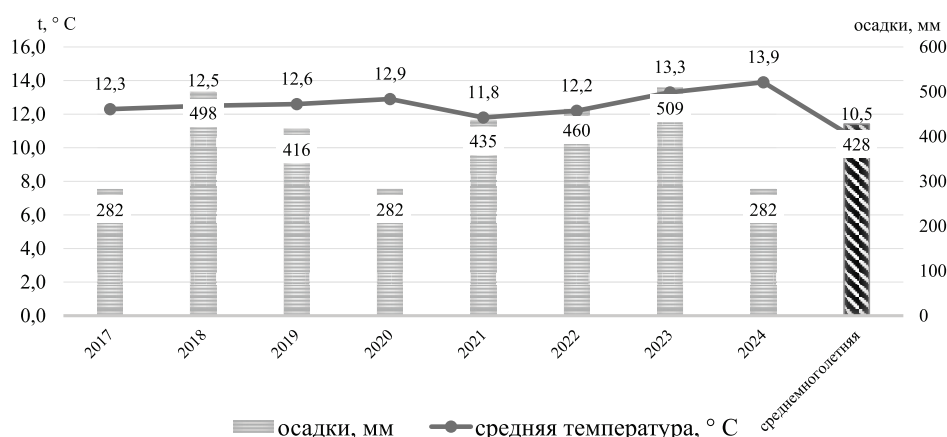


Рис. 1. Среднегодовые агроклиматические показатели в годы проведения исследования, агрометеорологическая станция Клепинино

Fig. 1. Average annual agroclimatic parameters during the years of study, agrometeorological station Klepinino

Согласно рис. 1, количество осадков сильно варьировало по годам исследований. В 2017, 2020 и 2024 гг. культуры вегетировали в экстремально засушливых условиях. Три года из восьми лет наблюдений были близки к среднему климатическому показателю (2019, 2021, 2022 гг.), а сумма осадков 2018 и 2023 гг. превысила показатель на 116 и 118 % соответственно.

По данным агрометеорологической станции Клепинино среднемесячная температура воздуха за годы исследований была выше среднее многолетних значений (рис. 2).

Среднемесячная температура января и февраля не имела отрицательных показателей, что не могло не отразиться на вегетации озимой группы культур и минерализационных процессах в целом.

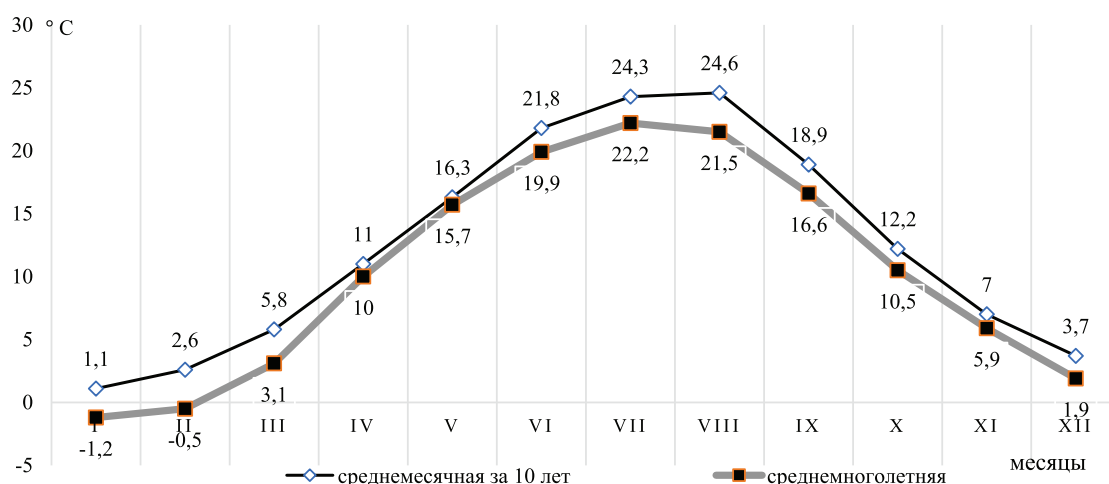


Рис. 2. Среднемесячная температура воздуха в годы проведения исследования, °C (среднее за 2017–2024 гг.)

Fig. 2. Average monthly air temperature during the years of study, °C (mean in 2017–2024)

Результаты и их обсуждение. Для получения урожая в степных районах лимитирующим фактором является влага. Наличие продуктивной влаги в почве зависит от выпадающих осадков, среднесуточной температуры воздуха и силы ветра.

Контрастные погодные условия в годы исследования позволили более полно раскрыть

поставленную задачу по изучению влияния технологий на накопление и сохранение доступной влаги.

В нашем исследовании обработки почвы не оказали существенного влияния на запас влаги в посевном, пахотном и метровом слоях почвы (табл. 1).

Таблица 1. Влияние технологии возделывания культур на количество доступной влаги, мм (среднее за 2017–2024 гг.)

Table 1. A cultivation technology effect on available moisture, mm (mean in 2017–2024)

Технология возделывания	Слой почвы, см	Период учета, мм	
		посев	полная спелость
Традиционная	0–10	5,8	3,3
	0–20	14,4	9,6
	0–100	60,5	31,1
Прямой посев	0–10	6,4	2,7
	0–20	14,5	7,8
	0–100	61,7	29,2
НСП ₀₅	0–10	FФ < FТ	FФ < FТ
	0–20	FФ < FТ	FФ < FТ
	0–100	FФ < FТ	FФ < FТ

В среднем за годы исследований перед посевом культур, независимо от систем земледелия, запасы продуктивной влаги оценивались в посевном и пахотном слоях почвы как неудовлетворительные – менее 20 мм, а в метровом – плохие. Перед уборкой влагообеспеченность была очень низкой и даже в метровом слое почвы находилась на уровне 30 мм. В среднем по севообороту при анализе данных не отмечено существенных отличий между технологиями и их достоверного влияния на накопление и сохранение влаги в почве.

Важным показателем, влияющим на рост и развитие культур, является объемная масса – плотность почвы. Плотность почвы должна находиться в оптимальных пределах для луч-

шего развития корневой системы сельскохозяйственных культур и соответствовать их экологическим потребностям. Черноземы южные малогумусированные среднемощные на лесовидных легких глинах в гумусовом горизонте (0–40 см) имеют плотность сложения почвы 1,10–1,32 г/см³, в переходном горизонте (40–115 см) объемная масса варьирует в диапазоне 1,35–1,48 г/см³ (Драган, 2004). Оптимальными значениями плотности почвы для большинства культур являются показатели от 0,9 до 1,2 г/см³. В наших исследованиях при обеих технологиях возделывания слой почвы 0–10 см имел оптимальный параметр сложения для всхожести сельскохозяйственных культур и не имел достоверных отличий (табл. 2).

Таблица 2. Изменение плотности почвы в зависимости от технологии возделывания, г/см³ (среднее за 2017–2024 гг.)
Table 2. Change of soil density depending on a cultivation technology, g/cm³ (mean in 2017–2024)

Технология возделывания	Культура	Слой почвы, см		
		0–10	10–20	20–30
Традиционная	черный пар	1,00	1,23	1,39
	озимая пшеница	1,11	1,37	1,51
	лен масличный	1,09	1,28	1,45
	озимый ячмень	1,09	1,38	1,51
	сорго зерновое	1,00	1,36	1,43
	среднее	1,06	1,32	1,46
Прямой посев	горох посевной	1,01	1,35	1,31
	озимая пшеница	1,05	1,35	1,45
	лен масличный	1,03	1,36	1,33
	озимый ячмень	1,16	1,45	1,49
	сорго зерновое	1,03	1,33	1,36
	среднее	1,05	1,37	1,39
НСР ₀₅		0,04	0,08	0,04

Слой почвы в 10–20 см, где будет размещаться и развиваться основная масса корней растений, значительно плотнее вышележащего слоя на обеих технологиях – 1,32 и 1,37 г/см³ соответственно. При этом в слое 10–20 см прослеживается тенденция уплотнения почвы по технологии прямого посева на 0,05 г/см³, или 3,8 %. Под пахотным горизонтом (20–30 см) зафиксировано уплотнение почвенного профиля по традиционной технологии

на 0,07 г/см³, или 5,0 %, по сравнению с прямым посевом. В отличие от технологии прямого посева в слое 20–30 см в традиционной технологии наблюдается уплотнение почвы в сравнении с вышележающим слоем, что объясняется длительной обработкой на одинаковую глубину.

В нашем опыте урожайность яровой культуры гороха посевного в среднем за восемь лет составила 1,22–1,34 т/га (табл. 3)

Таблица 3. Влияние технологии возделывания и обработки семенного материала на урожайность, т/га (среднее за 2017–2024 гг.)
Table 3. Effect of cultivation technology and seed processing on productivity, t/ha (mean in 2017–2024)

Технология возделывания	Обработка семян	Сельскохозяйственные культуры				
		горох	пшеница	лен	ячмень	сорго
Традиционная	без обработки	–	4,43	0,97	3,64	1,70
	обработка семян	–	4,49	0,93	3,58	1,79
Прямой посев	без обработки	1,22	3,18	0,87	3,31	1,60
	обработка семян	1,34	3,12	0,93	3,62	1,74
Средняя по технологиям	традиционная	–	4,43	0,94	3,64	1,75
	прямой посев	–	3,15	0,85	3,31	1,67
Средняя по обработке	без обработки	1,22	3,80	0,90	3,58	1,65
	обработка семян	1,34	3,80	0,90	3,62	1,77
НСР ₀₅	по технологии	–	0,83	0,12	0,43	0,43
	по обработке	0,09	0,21	0,05	0,12	0,13
	взаимодействие	–	0,86	0,13	0,44	0,45

Применение комплексного микробного препарата Микробиоком-Агро способствовало достоверной прибавке урожая на 0,12 т/га, или 9,8 %. Урожайность озимой пшеницы по классической технологии, где предшественником выступил черный пар с внесением органического удобрения, существенно превышала – на 1,28 т/га (40,6 %) – прямой посев. Предпосевная обработка семян не оказала достоверного влияния на изменение урожайности по обеим технологиям. Возделывание льна масличного по разным технологиям не повлияло на урожайность культуры. Инокуляция семян способствовала достоверному увели-

чению урожая на варианте прямого посева на 0,06 т/га (7,0 %). Вышеописанные закономерности повторяются при анализе данных урожайности озимого ячменя и сорго зернового. При инокуляции семян Микробиоком-Агро на прямом посеве прибавка на ячмене составила 0,31 т/га, на сорго – 0,14 т/га.

Для оценки севооборота по исследуемым технологиям возделывания и обработке семенного материала мы провели расчет продуктивности, где средняя урожайность культур переведена в зерновые и кормовые единицы, переваримый протеин, а также рассчитан показатель кормопroteина (КПЕ).

В среднем за 8 лет исследований на контрольном варианте прямого посева урожайность была на 0,14 т/га (6,5 %) з. ед. меньше, чем

контроль, и больше на 0,04 т/га (1,9 %) з. ед. варианта с инокуляцией по традиционной технологии (табл. 4).

Таблица 4. Влияние технологии возделывания на продуктивность севооборотов, т/га (среднее за 2017–2024 гг.)

Table 4. A cultivation technology effect on crop rotation productivity, t/ha (mean in 2017–2024)

Технология возделывания	Обработка семян	Урожайность, т/га (средняя по культурам)	Выход с 1 га, т			
			з. ед.	к. ед.	переваримый протеин	КПЕ
Традиционная технология	без обработки	2,16	2,28	2,58	0,25	2,53
	обработка семян	1,99	2,10	2,37	0,23	2,33
Прямой посев	без обработки	2,04	2,14	2,43	0,25	2,48
	обработка семян	2,38	2,38	2,71	0,28	2,76

При изучении применения предпосевной инокуляции семян препаратом Микробиоком-Агро сбор зерновых единиц превысил варианты контроля по традиционной технологии и прямому посеву на 0,1 т/га (4,4 %) и 0,24 т/га (11,2 %) соответственно. Вышеописанные значения прослеживаются в таких показателях, как кормовые и кормопротеиновые единицы.

Таким образом, при возделывании изучаемых в опыте культур прямым высевом в засушливых условиях степного региона обязательным агрономическим приемом должна стать инокуляция семенного материала полифункциональным микробным препаратом.

Выводы. Установлено, что в условиях недостаточного увлажнения Центральной степи Крыма в целом по севообороту значимых отличий по накоплению и сохранению доступной влаги в период посева и уборки культур между сравниваемыми технологиями обнаружено не было.

Проведенные исследования свидетельствуют, что при соблюдении всех технологических аспектов технологии введение прямого посева на черноземах южных малогумусированных на лессовидных легких глинах не приводит к переуплотнению почвенного профиля.

Плотность почвы при ПП восстанавливается до исходного уровня. На традиционной технологии в слое почвы 20–30 см отмечено достоверное уплотнение плотности, превышающее оптимальные значения.

При сравнении технологий достоверное увеличение урожайности отмечено на озимой пшенице по ТП на 1,28 т/га. Обработка семян Микробиоком-Агро способствовала прибавке урожая на ПП.

Среднегодовая продуктивность севооборота на прямом посеве с инокуляцией семенного материала самая высокая из всех вариантов – 2,38 зерновых единиц.

Таким образом, на черноземе южном в условиях недостаточного увлажнения, применяя инокуляцию семян полифункциональными микробными препаратами, возможно внедрение технологии прямого посева.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (тема № FNZW-2022-0004).

Благодарности. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку работы.

Библиографический список

1. Гонгало А. А. Влияние технологии возделывания на засоренность посевов и продуктивность озимого ячменя // Плодородие. 2025. № 1(142). С. 26–30. DOI: 10.25680/S19948603.2025.142.07
2. Гоноченко А. В., Гаджиумаров Р. Г., Джандаров А. Н., Дриджер В. К. Рост, развитие и урожайность озимой пшеницы в зависимости от интенсификации технологии возделывания в системе прямого посева на черноземе обыкновенном Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 3. С. 84–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-98-3-84-90
3. Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж., Щербинина Е. В., Пронович Л. В. Оптимизация технологических операций при возделывании полевых культур в засушливых условиях Поволжья // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 5. С. 34–38. DOI: 10.31857/S250026272305006X
4. Дементьев Д. А., Фадеев А. А. Влияние систем обработки на агрофизические свойства темно-серой лесной почвы и продуктивность звена полевого севооборота // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 6. С. 1100–1111. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1100-1111
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Дубовик Е. В., Дубовик Д. В. Макроструктурное состояние чернозема типичного при различных способах обработки почвы // Агрофизика. 2024. № 1. С. 1–9. DOI: 10.25695/AGRPH.2024.01.01
7. Князева Т. В., Ульянов В. С. Кормопроизводство: метод. рекомендации. Краснодар: КубГАУ, 2016. 56 с.
8. Прудко О. И., Адаменко Т. И. Агроклиматический справочник по АР Крым / под ред. О. И. Прудко, Т. И. Адаменко. Симферополь: Таврида, 2011. 342 с.
9. Tubalov A. A., Belyakov A. M., Koshelev A. V., Sytin G. O. Influence of the No-till Technology on the Bulk Density of the Calcic Chernozem of the Volgograd Region // Indian Journal of Agricultural Research. 2024. Vol. 58(3). P. 488–494. DOI: 10.18805/IJARE.AF-825

10. H. Lin, J. Zheng, M. Zhou, P. Xu, T. Lan, F. Kuang, Z. Li, Z. Yao, B. Zhu Crop straw incorporation increases the soil carbon stock by improving the soil aggregate structure without stimulating soil heterotrophic respiration // *Journal of Integrative Agriculture*. 2025. Vol. 24. P. 1542–1561. DOI: 10.1016/j.jia.2024.09.026

References

1. Gongalo A. A. Vliyanie tekhnologii vozdel'yvaniya na zasorennost' posevov i produktivnost' ozimogo yachmenya [A cultivation technology effect on weediness and winter barley productivity] // *Plodородie*. 2025. № 1(142). S. 26–30. DOI: 10.25680/S19948603.2025.142.07
2. Gonochenko A. V., Gadzhumarov R. G., Dzhandarov A. N., Dridiger V. K. Rost, razvitiye i urozhnaynost' ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot intensivifikatsii tekhnologii vozdel'yvaniya v sisteme pryamogo poseva na chernozeme obyknovennom Stavropol'skogo kraya [Winter wheat growth, development, and productivity depending on cultivation intensification in a direct seeding system on ordinary blackearth in the Stavropol territory] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2025. T. 17, № 3. S. 84–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-98-3-84-90.
3. Goryanin O. I., Dzhangabaev B. Zh., Shcherbinina E. V., Pronovich L. V. Optimizatsiya tekhnologicheskikh operatsii pri vozdel'yvanii polevykh kul'tur v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Optimization of technological operations in field crop cultivation in the arid conditions of the Volga Region] // *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*. 2023. № 5. S. 34–38. DOI: 10.31857/S250026272305006X
4. Dement'ev D. A., Fadeev A. A. Vliyanie sistem obrabotki na agrofizicheskie svoystva temno-seroi lesnoi pochvy i produktivnost' zvena polevogo sevooborota [The effect of cultivation systems on the agro-physical properties of dark gray forest soils and the field crop rotation productivity] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2024. T. 25, № 6. S. 1100–1111. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1100-1111
5. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with fundamentals of statistical analysis of the study results)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
6. Dubovik E. V., Dubovik D. V. Makrostrukturnoe sostoyanie chernozema tipichnogo pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy [Macrostructural state of typical blackearth under various tillage methods] // *Agrofizika*. 2024. № 1. S. 1–9. DOI: 10.25695/AGRP.2024.01.01
7. Knyazeva T. V., Ul'yanov V. S. Kormoproizvodstvo: metod. Rekomendatsii [Forage production: methodological recommendations]. Krasnodar: KubGAU, 2016. 56 s.
8. Prudko O. I., Adamenko T. I. Agroklimaticheskii spravochnik po AR Krym [Agroclimatic handbook for the AR of Crimea] / pod red. O. I. Prudko, T. I. Adamenko. Simferopol': Tavrida, 2011. 342 s.
9. Tubalov A. A., Belyakov A. M., Koshelev A. V., Sytin G. O. Influence of the No-till Technology on the Bulk Density of the Calcic Chernozem of the Volgograd Region // *Indian Journal of Agricultural Research*. 2024. Vol. 58(3). P. 488–494. DOI: 10.18805/IJARE.AF-825
10. H. Lin, J. Zheng, M. Zhou, P. Xu, T. Lan, F. Kuang, Z. Li, Z. Yao, B. Zhu. Crop straw incorporation increases the soil carbon stock by improving the soil aggregate structure without stimulating soil heterotrophic respiration // *Journal of Integrative Agriculture*. 2025. Vol. 24. P. 1542–1561. DOI: 10.1016/j.jia.2024.09.026

Поступила: 29.04.25; доработана после рецензирования: 23.07.25; принята к публикации: 23.07.25.

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. Гонгало А. А. – подготовка опыта, выполнение лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, концептуализация исследования, подготовка рукописи; Реент В. В. – подготовка опыта, выполнение лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВИНКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ

ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ



ФЕДОС. Сорт внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2019 г., защищен патентом. Раннеспелый, созревает на 4–5 дней раньше стандарта Формат. Устойчивость к полеганию высокая. В среднем за три года (2022–2024) масса 1000 зерен составила 46,5 г. Натура зерна 701 г/л. За годы изучения в конкурсном испытании (2022–2024) сорт Федос сформировал урожайность 5,5 т/га, превышая стандарт Формат на 0,2 т/га. Максимальная урожайность – 7,2 т/га – получена в 2017 году. Назначение сорта: использование на фураж и в продовольственных целях. Содержание белка в зерне 12,2–13,7 %. Устойчив к поражению основными листовыми и колосовыми головневыми болезнями. Характеризуется высокой адаптивностью к почвенно-климатическим условиям засушливых регионов России. Засухоустойчивость и жаростойкость высокие. Хорошо выносит засуху в течение всего периода вегетации. Сочетает высокую засухоустойчивость с потенциальной продуктивностью. Ценный по крупяным качествам.

ФОРМАТ. Сорт внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2020 г., защищен патентом. Среднеспелый. Устойчивость к полеганию высокая. В среднем за три года (2022–2024) масса 1000 зерен составила 45,9 г. Натура зерна 694 г. За годы изучения в конкурсном сортоиспытании (2022–2024) сорт Формат сформировал урожайность 5,3 т/га. Максимальная урожайность – 8,4 т/га – получена в 2018 г. на Обоянском ГСУ Курской области. Назначение сорта: использование на продовольственные цели, пивоварение и фураж. Содержание белка в зерне в зависимости от технологии возделывания составляет от 10,1 до 13,2 %. Имеет полевую устойчивость к основным болезням. Засухоустойчивость и жаростойкость высокие. Сорт адаптирован к усилению проявления засушливости климата последних лет. В годы с разной влагообеспеченностью стабильно формирует высокую урожайность высококачественного зерна.

АЗИМУТ. Сорт внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2022 г., защищен патентом. В среднем за три года (2022–2024) масса 1000 зерен составила 48,6 г. Натура зерна 702 г/л. Раннеспелый, созревает на 3–6 дней раньше стандартного сорта Формат. Устойчивость к полеганию высокая. За годы изучения в конкурсном сортоиспытании (2022–2024) сорт Азимут сформировал урожайность в среднем 5,4 т/га, что выше стандарта Формат на 0,1 т/га. Назначение сорта: использование на фуражные, продовольственные и пивоваренные цели. Содержание белка в зерне – от 8,7 до 12,0 % в зависимости от технологии выращивания. Имеет полевую устойчивость к поражению основными болезнями. Засухоустойчивость и жаростойкость высокие. Сорт адаптирован к резко контрастным условиям в период активной вегетации.

Наши реквизиты:

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»
(ФГБНУ «АНЦ «Донской»),
347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.
Тел./факс: (86359) 43-3-82, 43-0-63, 42-5-96; e-mail: vniizk30@mail.ru
Тел. Отдела маркетинга и внедрения НИР: 8-928-141-58-00.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Редакция теоретического и научно-практического журнала «Зерновое хозяйство России», приглашает научных сотрудников, педагогов, соискателей и аспирантов к сотрудничеству в рамках научного журнала.

Тематика научных материалов – селекция, генетика, семеноводство, семеноведение, физиология, биохимия и биотехнология, агрохимия, иммунитет, защита растений, технологии возделывания зерновых и кормовых культур.

В журнале публикуются статьи проблемного и научно-практического характера, представляющие собой результаты завершённых исследований, обладающие новизной и представляющие интерес для широкого круга читателей журнала.

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 рекомендован Высшей аттестационной комиссией (ВАК) и включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (категория К1).

Журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ), Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Белый список (<https://journalrank.rcsi.science/ru/record-sources/>). Полные тексты статей доступны на сайте электронной научной библиотеки eLIBRARY.RU: https://elibrary.ru/title_profile.asp?id=31842.

Консультации по возникающим вопросам можно получить по адресу электронной почты: **zhros.don@yandex.ru**