

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СИБИРСКИЙ ВЕСТНИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ

SIBIRSKII VESTNIK SEL'SKOKHOZYAISTVENNOI NAUKI

УЧРЕДИТЕЛИ: СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОСНОВАН В 1971 г.

ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД

Том 53, № 6 (295)

DOI: 10.26898



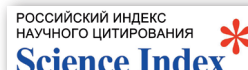
2023

ИЮНЬ

Главный редактор – Донченко Александр Семенович, академик РАН, доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, руководитель научного направления Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Заместитель главного редактора – Ломбанина Татьяна Александровна, заведующая издательством «Агронаука» Сибирского федерального научного центра агrobiотехнологий Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Редакционная коллегия:

В.В. Азаренко	д-р техн. наук, член-корреспондент НАН Беларуси, Минск, Беларусь
В.В. Альт	академик РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
О.С. Афанасенко	академик РАН, д-р биол. наук, Санкт-Петербург, Россия
Б. Бямбаа	д-р вет. наук, академик Академии наук Монголии, Улан-Батор, Монголия
А.Н. Власенко	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
Н.Г. Власенко	академик РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
К.С. Голохваст	член-корреспондент РАО, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
О.В. Голуб	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
Н.П. Гончаров	академик РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
М.И. Гулюкин	академик РАН, д-р вет. наук, Москва, Россия
В.Н. Десягин	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
С.А. Джохари	профессор, PhD, Санандадж, Иран
И.М. Донник	академик РАН, д-р биол. наук, Москва, Россия
Н.А. Донченко	член-корреспондент РАН, д-р вет. наук, Новосибирск, Россия
Н.М. Иванов	член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
А.Ю. Измайлов	академик РАН, д-р техн. наук, Москва, Россия
Н.И. Кашеваров	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
В.И. Кирюшин	академик РАН, д-р биол. наук, Москва, Россия
С.Н. Магер	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
К.Я. Мотовилов	член-корреспондент РАН, д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
О.К. Мотовилов	д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
А.М. Наметов	д-р вет. наук, член-корреспондент НАН Республики Казахстан, Уральск, Казахстан
В.С. Николов	д-р вет. наук, София, Болгария
С.П. Озорнин	д-р техн. наук, Чита, Россия
В.Л. Петухов	д-р биол. наук, Новосибирск, Россия
Р.И. Полюдина	д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
М.И. Селионова	д-р биол. наук, Москва, Россия
В.А. Солощенко	академик РАН, д-р с.-х. наук, Новосибирск, Россия
Н.А. Сурин	академик РАН, д-р с.-х. наук, Красноярск, Россия
И.Ф. Храмцов	академик РАН, д-р с.-х. наук, Омск, Россия
С. Эркисли	профессор, PhD, Эрзурум, Турция
С.Х. Янг	профессор, PhD, Кванджу, Корея



www.sibvest.elpub.ru

Редакторы *Е.М. Исаевич, Е.В. Мосунова, Г.Н. Ягунова*. Корректор *В.Е. Селянина*.

Оператор электронной верстки *Н.Ю. Бориско*. Переводчик *М.Ш. Гаценко*.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ ФС77-64832 выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 2 февраля 2016 г.

Издатель: Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук

Адрес редакции и издателя: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СФНЦА РАН, к. 456, а/я 463

Адрес типографии: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СибНИИ кормов, к. 156

Тел./факс: (383)348-37-62; e-mail: sibvestnik@sfsca.ru, vestnik.nsk@ngs.ru; <https://sibvest.elpub.ru/jour>

Вышел в свет 20.07.2023. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Печ. л. 14,00

Уч.-изд. л. 14,00. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано в Сибирском федеральном научном центре агrobiотехнологий Российской академии наук

© ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук», 2023

© ФГБУ «Сибирское отделение Российской академии наук», 2023



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ХИМИЗАЦИЯ

AGRICULTURE
AND CHEMICALIZATION

Ионина Н.В., Волынкина О.В. Эффективность удобрений на посевах пшеницы в северо-западной зоне Курганской области

5 Ionina N.V., Volynkina O.V. Fertilizer efficiency on wheat crops in the northwestern zone of the Kurgan region.

РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ

PLANT GROWING AND BREEDING

Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е. Адаптивность и экологическая пластичность ячменя в условиях лесостепи Красноярского края

15 Surin N.A., Gerasimov S.A., Lyakhova N.E. Adaptability and ecological plasticity of barley under forest-steppe conditions of the Krasnoyarsk Territory

Кравченко Н.С., Подгорный С.В., Игнатьева Н.Г., Чернова В.Л. Изучение исходного материала озимой мягкой пшеницы для селекции на качество зерна

24 Kravchenko N.S., Podgorny S.V., Ignatieva N.G., Chernova V.L. Study of the parent material of soft winter wheat for breeding for grain quality

Ловцова Л.Г., Забелина М.В., Майоров А.В., Усков К.Ю., Тюрин И.Ю., Мавзовин В.С. Анализ активности окислительных ферментов методом многомерной регрессии в присутствии Mg^{2+} мицелия гриба вешенка

33 Lovtsova L.G., Zabelina M.V., Mayorov A.V., Uskov K.Yu., Tyurin I.Yu., Mavzovin V.S. Analysis of the activity of oxidative enzymes by multivariate regression in the presence of Mg^{2+} oyster mushroom mycelium

**ЗООТЕХНИЯ
И ВЕТЕРИНАРИЯ**

**ZOOTECHNICS
AND VETERINARY MEDICINE**

- | | | |
|--|------------------|--|
| <p>Донченко А.С., Неустроев М.П., Тарабукина Н.П. Ветеринарное обеспечение табунного коневодства: проблемы и пути решения</p> | <p>43</p> | <p>Donchenko A.S., Neustroev M.P., Tarabukina N.P. Veterinary support of the herd horse breeding: problems and solutions</p> |
| <p>Колосова М.А., Романец Е.А., Колосов А.Ю., Гетманцева Л.В. Мировые достижения геномного редактирования в области свиноводства</p> | <p>51</p> | <p>Kolosova M.A., Romanets E.A., Kolosov A.Yu., Getmantseva L.V. Global advances in genomic editing in pig breeding</p> |
| <p>Богатырева И.А.-А., Краснова О.А., Коник Н.В., Улимбашев М.Б. Совершенствование красного степного скота генофондом голштинской породы</p> | <p>59</p> | <p>Bogatyreva I.A.-A., Krasnova O.A., Konik N.V., Ulimbashev M.B. Improvement of the Red Steppe cattle by the Holstein breed gene pool</p> |
| <p>Двоглазов Н.Г., Агаркова Т.А., Осипова Н.А., Магер С.Н. Результаты реализации оздоровительных мероприятий в хозяйствах, неблагополучных по лейкозу крупного рогатого скота</p> | <p>67</p> | <p>Dvoeglazov N.G., Agarkova T.A., Osipova N.A., Mager S.N. Results of the implementation of sanitation measures in the farms unfavorable for bovine leukemia</p> |

**МЕХАНИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**MECHANISATION, AUTOMATION,
MODELLING AND DATAWARE**

- | | | |
|---|------------------|--|
| <p>Михальцов Е.М., Чекусов М.С., Кем А.А., Шмидт А.Н., Даманский Р.В. О рациональном выборе зерноуборочного комбайна и жатки для уборки зерновых в условиях Сибири</p> | <p>74</p> | <p>Mikhaltsov E.M., Chekusov M.S., Kem A.A., Schmidt A.N., Damsky R.V. On the rational choice of a combine harvester and a reaper for grain harvesting in conditions of Siberia</p> |
|---|------------------|--|

ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

- | | | |
|---|------------------|--|
| <p>Кандроков Р.Х., Кирюшин В.А., Прудникова А.С. Влияние соотношения помольной смеси зерна пшеницы и амаранта на химические и физико-химические показатели пшенично-амарантовой муки</p> | <p>83</p> | <p>Kandrokov R. Kh., Kiryushin V.A., Prudnikova A.S. Influence of wheat and amaranth grain mixture ratio on chemical and physicochemical parameters of wheat-amaranth flour</p> |
|---|------------------|--|

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Тыщенко В.И., Терлецкий В.П. Оценка генетических различий у животных на примере представителей рода *Camelus*

BRIEF REPORTS

92 Tyshchenko V.I., Terletskiy V.P. Assessment of genetic differences in animals as exemplified by representatives of the genus *Camelus*

НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

Полищук Ю.В., Лаптев Н.В., Комаров А.П., Мурзабеков Т.А., Гребенюк К.В. Разработка агротехнологических требований для производителей технических средств, используемых в точном земледелии

SCIENTIFIC RELATIONS

98 Polichshuk Yu.V., Laptev N.V., Komarov A.P., Murzabekov T.A., Grebenyuk K.V. Development of agrotechnological requirements for manufacturers of technical tools and agricultural products used in precision farming



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-1>

УДК: 631.81:631.559:631.582(571.11)

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ НА ПОСЕВАХ ПШЕНИЦЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЗОНЕ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ионина Н.В., (✉) Волынкина О.В.

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук

Екатеринбург, Россия

(✉) e-mail: volynkina.o@bk.ru

Представлены результаты длительного (1968–2021 гг.) эксперимента по применению удобрений за 10-ю и 11-ю ротации зернопарового севооборота на опытном поле Курганской области. Севооборот включал пар и три пшеницы. Эффективность удобрения различалась в зависимости от комбинации элементов питания, места пшеницы в севообороте и условий увлажнения периода вегетации. На тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе опытного поля в этих ротациях проявилось умеренное действие фосфорного удобрения и высокое – азотного на посевах, удаленных от пара. Сочетание азотного и фосфорного удобрений давало более высокую прибавку урожайности. Азотное удобрение оказывало положительное влияние и на качество пшеницы, повышая содержание клейковины и массу 1000 зерен. С увеличением накопления клейковины в зерне пшеницы на фоне азотного удобрения повышалась повторяемость соответствия качества пшеницы требованиям к 3-му классу зерна. Проявилось действие удобрений и длительности их применения на агрохимические свойства почвы. Заметнее с применением удобрений повышалось содержание подвижных питательных веществ в почве, гумуса, общего содержания азота и фосфора, но при этом снизилось значение $pH_{\text{сол}}$. Высокая экономическая эффективность относилась к азотному удобрению, вносимому на второй и третьей пшенице после пара с окупаемостью 1 кг азота 12–19 кг зерна. Действие фосфорного удобрения было умеренным, поскольку содержание подвижного P_2O_5 в пахотном слое почвы оставалось высоким. Сильнее применение аммофоса влияло на урожайность пшеницы при хорошей обеспеченности растений азотом на первом посеве по пару.

Ключевые слова: северо-западная зона Курганской области, выщелоченный чернозем, состав удобрения, зернопаровой севооборот, урожайность пшеницы, качество зерна

FERTILIZER EFFICIENCY ON WHEAT CROPS IN THE NORTHWESTERN ZONE OF THE KURGAN REGION

Ionina N.V., (✉) Volynkina O.V.

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Ekaterinburg, Russia

(✉) e-mail: volynkina.o@bk.ru

The results of long-term (1968–2021) experiment on the use of fertilizers for the 10th and 11th rotations of grain and fallow crop rotation in the experimental field of the Kurgan region are presented. Crop rotation included fallow and three crops of wheat. Fertilizer efficiency varied depending on the combination of the nutrients, the place of wheat in the rotation, and the moisture conditions of the growing season. Moderate effect of phosphorus fertilizer and high effect of nitrogen fertilizer on heavy loamy leached chernozem of the experimental field in these rotations was observed on the crops distant from the fallow. The combination of nitrogen and phosphorus fertilizers gave a higher yield increase. Nitrogen fertilizer also had a positive effect on the quality of wheat, increasing the gluten content and the thousand-kernel weight. With the increase of gluten accumulation in wheat grain against the background of nitrogen fertilizer, the repeatability of wheat quality compliance with the requirements for the 3rd class of grain increased. The effect of fertilizers and the duration of their application on the agrochemical properties of soil became visible. The content of mobile nutrients, humus, total nitrogen and

phosphorus increased more noticeably with the use of fertilizers, but the pH_{san} value decreased. High economic efficiency related to nitrogen fertilizer applied on the second and third wheat after fallow with a payback of 1 kg of nitrogen 12–19 kg of grain. The effect of phosphorus fertilizer was moderate, since the content of mobile P_2O_5 in the topsoil remained high. The use of ammophos had a stronger effect on the yield of wheat when the plants were well supplied with nitrogen in the first fallow crops.

Keywords: northwestern zone of the Kurgan region, leached chernozem, fertilizer composition, grain fallow crop rotation, wheat yield, grain quality

Для цитирования: Ионина Н.В., Волынкина О.В. Эффективность удобрений на посевах пшеницы в северо-западной зоне Курганской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-1>

For citation: Ionina N.V., Volynkina O.V. Fertilizer efficiency on wheat crops in the northwestern zone of the Kurgan region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002 «Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия».

Acknowledgements

This work was prepared under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education as part of the project No.0532-2021-0002 “To Improve the Adaptive Landscape Farming System for the Urals Region and Create New Generation Agricultural Technologies Based on Minimizing Tillage, Diversifying Rotations, Rational Use of Pesticides and Biopreparations, Preserving and Improving Soil Fertility, and Develop an Information and Analytical Complex of Computer Programs to Support Innovative Management of the Agricultural System”.

ВВЕДЕНИЕ

Яровая мягкая пшеница – основная культура в земледелии Курганской области. Большая часть ее посевов в области размещена на черноземах выщелоченных и обыкновенных солонцеватых. В черноземах в отличие от других типов почв накапливается больше нитратов, что обеспечивает благоприятный азотный режим для яровой пшеницы. Из двух подтипов черноземов больше нитратов образуется в обыкновенном солонцеватом по сравнению с выщелоченным.

При длительном применении азотных удобрений в почве повышается не только количество подвижных соединений азота, но меняется содержание общего азота, увеличиваясь на 4–16% [1]. Важность уточнения оптимальных доз азотного удобрения обоснована устранением или снижением потерь азота через вы-

мывание в слои почвы ниже корнеобитаемого горизонта. Действие азота и фосфора тесно взаимосвязано. Достаточная обеспеченность растений фосфором усиливает положительное влияние азотного удобрения [2–4].

В Уральском регионе в пашне насчитывается 50–60% почв с низким содержанием подвижного фосфора [5, 6], что обуславливает на таких фонах применять совместно азотное и фосфорное удобрение. Подвижного калия в почвах Курганской области достаточно, но на фонах систематического внесения азота и фосфора добавление калийного удобрения приносит небольшое дополнительное повышение урожайности культур, особенно пропашных. Эффективность даже оптимальных доз удобрений в большой степени меняется от складывающихся метеорологических условий^{1–3} [7]. Как отмечают О.В. Мельников и

¹Фатыхов И.Ш., Колесникова В.Г., Корепанова Е.В., Исламова Ч.М. Экологические проблемы в агрономии // Современному АПК – эффективные технологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию В.М. Макаровой (11–14 декабря 2018 г.). Ижевск: Ижевская ГСХА. 2019. Т. 1. С. 445–447.

²Волкова Л.В. Урожайность яровой мягкой пшеницы и ее связь с элементами продуктивности в разные по метеорологическим условиям годы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 6. С. 9–15.

³Мельников О.В., Мажуго Т.М. Урожайность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 8. С. 123–125.

Т.М. Мажуго (см. сноску 3), «величина урожая – это результат компромисса между продуктивностью растений и его устойчивостью к неблагоприятным условиям среды». Со смещением срока посева появляется возможность регулирования урожайности культур с учетом распределения осадков и изменчивости других показателей погоды по многолетним климатическим данным. Есть примеры, когда в условиях сниженной солнечной активности выигрывали ранние сроки посева пшеницы, а повышенной – поздние⁴.

Варьируют урожайность и качество зерна пшеницы и в связи с другими элементами агротехники: подбором сортов интенсивного типа [8], посевом ценной или сильной пшеницы [9], местом в севообороте и видом обработки почвы. По влиянию на урожайность пшеницы нулевая обработка почвы и традиционная сближаются в степных зонах многих регионов⁵. Удобрения повышают количество основной продукции и общую сумму растительных остатков, увеличивая постепенно за счет этого содержание гумуса⁶. Под влиянием удобрений повышается содержание подвижных питательных веществ в почве, существенно улучшая условия питания растений⁷ [10].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Длительный эксперимент на опытном поле Курганского научно-исследовательского института сельского хозяйства в с. Мальцево (Курганская область) проводили в трех закладках с 1968, 1969 и 1971 гг. Вначале это подразделение было Шадринской опытной станцией, которой 35 лет руководил Т.С. Мальцев, далее – В.Б. Собянин. С 2010 г. станция присоединена к Курганскому НИИСХ в качестве лаборатории им. Т.С. Мальцева. Большую часть лет исполнителями опыта были Б.Н. Собянин, П.З. Собянина, В.Б. Собянин и О.Б. Собянина,

с 2011 г. – Н.В. Ионина. С 2011 г. руководил исследованиями А.Н. Копылов. Анализ данных опыта выполнен авторами статьи.

Материалы эксперимента по изучению удобрений опубликованы в 2019 г. в статье в журнале «Агрохимия», где сделано обобщение результатов опыта с удобрениями за 1968–2017 гг. [11]. В настоящей статье обсуждены данные, полученные в 10-й и 11-й ротациях (2014–2021 гг.).

Почва – тяжелосуглинистый выщелоченный чернозем. Севооборот развернут в пространстве и во времени, т.е. учеты вели для первой – третьей пшеницы после пара в трех полях – закладках опыта. Агрохимические свойства почвы в первые годы опыта: гумус на трех участках-закладках – 6,18–6,48–6,33%, общий азот – 0,308–0,314–0,339%, валовой фосфор – 0,145–0,118–0,153%, pH_{KCl} – 5,8–6,2, подвижные P_2O_5 и K_2O по Чирикову – 54–61 и 159–196 мг/кг почвы. Содержание подвижного фосфора в контроле с 7-й ротации начало повышаться в связи с систематической обработкой почвы поперек делянок, хотя защитная зона у каждой делянки составляла по 2,11 м с двух сторон. В контроле в 4-й ротации этот показатель поддерживался на исходном уровне – 54 мг/кг, в 7-й (1999–2005 гг.) стал равен 74 мг/кг, 2011 г. – 93 мг/кг. Даже на фоне азотно-калийного удобрения данная величина соответственно названным ротациям изменилась от 43 до 60 мг/кг. В связи с этим обычно хорошо проявляемое действие удобрений в комбинации РК на посевах пшеницы по пару в размере от 2 до 5 ц зерна/га зафиксировано лишь в 1–5-й ротациях. В 6-й и 8-й ротациях прирост урожайности от РК на первой пшенице снизился до 1,1–1,3 ц/га, в 7-й прибавка отсутствовала. Принято решение на 8 лет (2003–2010) прекратить применение фосфор-

⁴Василевский В.Д. Реакция мягкой яровой пшеницы разных групп спелости на срок посева в южной лесостепи Западной Сибири в зависимости от солнечной // Современному АПК – эффективные технологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию В.М. Макаровой (11–14 декабря 2018 г.). Ижевск: Ижевская ГСХА. 2019. Т. 1. С. 90–94.

⁵Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Способ ориентировочного определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // Современному АПК – эффективные технологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию В.М. Макаровой (11–14 декабря 2018 г.). Ижевск: Ижевская ГСХА. 2019. Т. 1. С. 348–352.

⁶Карпунин М.Ю., Гринев Л.В. Ресурсосберегающие технологии в степной зоне Северного Казахстана и их преимущества и проблемы // Аграрный вестник Урала. 2016. № 4 (146). С. 13–17.

⁷Шарков И.Н. Гумус и управление плодородием почвы // Аграрный сектор. 2016. № 4 (38). С. 126–135.

ного удобрения. После перерыва с 2011 г. фосфор стали вносить в дозе P_{20} локально сеялкой СЗ-3,6 перед посевом в отличие от ранее применяемого разбросного равномерного способа. При локальном внесении фосфорного удобрения в 10-й ротации прибавка урожайности от P_{20} на пшенице по пару составила 2,6 ц/га.

В первые годы севооборот был пятипольным: пар, две пшеницы, кукуруза (овес с 1997 г.), пшеница, с 2011 г. – четырехпольным: пар и три пшеницы. Основная обработка почвы: в первые ротации – вспашка, с 2011 г. – поверхностная. Площадь делянок 221 м² (34 × 6,5), учетная 68,4 м² (30 × 2,28), повторность вариантов четырехкратная.

Дозы всех элементов питания изменялись. В таблицах приведено их средневзвешенное количество для 53 лет опыта. Действие удобрений изучали по схеме: контроль (без удобрения), РК, НК, НРК. Азот применяли в виде аммиачной селитры, фосфор – в форме суперфосфата. Хлористый калий вносили в опыте 32 года (по 2000 г.), далее калий оказывал лишь небольшое последствие, поскольку содержание K_2O в почве участка высокое – 172–200 мг/кг.

В 10-й и 11-й ротациях высевали сорта пшеницы Исеть 45 и Радуга. Посев осуществляли посевным комплексом «Кузбасс» на глубину 6 см в норму 4 млн всхожих зерен/га. Посев проводили 25 мая – 3 июня по мере достижения физической спелости тяжелосуглинистой почвы и повышения температуры воздуха до 15–17 °С. Прикатывание почвы осуществляли в день посева.

Для ухода за посевом проводили обработку растений с помощью Explorer баковой смесью, л/га: Опричник (0,4), Топтун (0,6) и инсектицид Айвенго (0,1). В годы распространения стеблевой ржавчины посев опрыскивали фунгицидом Фалькон. Урожай убирали напрямую комбайном Сампо-500 с отбором образцов зерна для учета влажности и сорности бункерной массы.

В зернопаропропашном севообороте при вспашке за 24–26 лет посевов пшеницы засуха повторилась 10 раз, за 7–8 лет зернопарового севооборота при поверхностной обработке – один раз в 2021 г. Сумма осадков

за май – август в период, взятый для анализа (2014–2021 гг.), в среднем составила 192 мм при колебаниях 36–281 мм.

Цель исследования – продолжить изучение действия состава удобрения в изменившихся агротехнических и агрохимических условиях выращивания пшеницы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние удобрений на урожайность пшеницы. Погодные условия в 10-й и 11-й ротациях для шести посевов первой пшеницы по пару 5 раз содействовали формированию высокой урожайности. Исключением был 2021 г. с сильной засухой, длившейся в мае, июне и начале июля, что вызвало снижение урожайности необработанной и удобренной пшеницы, ранее получаемой от 26–35 до 8–9 ц/га соответственно. На первой пшенице азот не вносили, но применение его в следующих полях севооборота оказывало последствие, которое положительным было лишь в 2019 г., что объясняется недостатком тепла в предыдущем году в период парования, а также в мае и июне 2019 г. На удобряемых посевах пшеницы по пару существенное влияние на урожайность оказывали варианты фосфорно-калийного и полного минерального удобрения с приростами урожайности 1,6 и 2,0 ц/га (см. табл. 1). Действие фосфора было невысоким в связи с упомянутым выше постепенным повышением содержания подвижного P_2O_5 (по Чирикову) на участке под опытом. Так, к 2011 г. оно достигло в контроле 93 мг/кг, в варианте $N_{54}K_{16}$ – 62 и на фонах с фосфорным удобрением – 108 и 118 мг/кг.

Урожайность второй пшеницы после пара в части лет снижалась до 10–13 ц/га, в среднем за 5 лет 10-й и 11-й ротаций получено 14,8 ц/га. Повышение продуктивности пшеницы в этом поле севооборота обеспечило азотное удобрение и его сочетание с фосфорным, где урожайность достигала уровня первой пшеницы по пару. В завершающем севообороте поле в связи с засухой 2021 г. получен самый низкий сбор зерна – 5–12 ц/га. В среднем за 5 лет в контроле собрано 13,4 ц/га. В этом поле также сильнее всего на урожайность действовало азотное удобрение. Однако повышение засоренности

в конце севооборота даже при внесении удобрения ограничило сбор зерна до 21,8 ц/га на фоне $N_{54}K_{16}$ и 23,4 ц/га с применением полного минерального удобрения (см. табл. 1).

Сравнение эффективности удобрений в два периода опыта при разной обработке почвы показало, что в отношении влияния разного состава удобрений закономерность была одинаковой. Например, на первой пшенице по пару в вариантах 1–4 (название вариантов см. табл. 1) урожайность при вспашке составляла 21,0; 23,5; 21,8 и 23,0 ц/га, в годы с поверхностной обработкой – 25,4; 27,4; 26,1 и 28,0 ц/га; на второй пшенице 11,5; 11,8; 16,1; 17,7 и 14,2; 16,2; 24,9; 27,8 ц/га соответственно. Урожайность и ее прибавка были ниже в годы вспашки, так как в первый период опыта оказалось больше засушливых лет.

Действие удобрений на качество зерна. Удобрение оказывало положительное влияние

на качество зерна пшеницы. Без удобрения в условиях северо-западной зоны не всегда удается одновременное повышение и урожайности пшеницы, и содержания белка в зерне. Так, в 10-й и 11-й ротациях в контроле даже у первой пшеницы по пару соответствие качества зерна требованиям к 3-му классу по содержанию клейковины в зерне обнаружено лишь в 50% лет. Азотно-калийный фон в первом посеве по пару повысил повторяемость по годам 3-го класса до 67% лет. На втором и третьем посевах после пара без удобрения количество клейковины в зерне пшеницы значительно ниже, но за счет внесения азота оно повышалось на 5–11% в абсолютной величине. Фосфорно-калийное удобрение незначительно изменяло содержание клейковины в зерне (см. табл. 2).

У неудобренной третьей пшеницы тоже только 2 года из 5 отмечен уровень клейковины не менее 23%. На фоне удобрения, включа-

Табл. 1. Урожайность первой – третьей пшеницы после пара в 10–11-й ротациях, ц/га

Table 1. Yield of the first - third wheat after fallow in 10-11th rotations, c/ha

Год	Вариант				НСР ₀₅ , ц/га
	Контроль	P ₂₇ K ₁₆	Π*N ₅₄ K ₁₆	ΠN ₅₄ P ₂₇ K ₁₆	
Первая пшеница после пара					
2014	31,3	33,2	30,0	34,0	0,9
2015	32,9	34,8	30,2	34,8	2,2
2017	30,5	32,2	29,9	32,0	1,3
2018	28,0	30,0	28,4	30,3	1,1
2019	26,5	27,0	28,2	30,3	0,7
2021	8,1	9,4	8,0	8,1	1,5
Среднее	26,2	27,8	25,8	28,2	
+– к контролю	–	1,6	–0,4	2,0	
Вторая пшеница после пара					
2015	20,1	23,8	31,4	32,4	2,1
2016	19,5	21,0	31,0	36,2	3,0
2018	10,4	10,7	15,9	17,8	2,7
2019	13,0	15,5	28,3	33,6	3,1
2020	11,0	11,1	18,9	19,3	4,2
Среднее	14,8	16,4	25,1	27,9	
+– к контролю	–	1,6	10,3	13,1	
Третья пшеница после пара					
2016	18,6	20,0	29,8	28,7	2,7
2017	16,9	18,0	27,6	29,6	2,5
2018	14,5	16,1	22,1	23,9	2,1
2020	11,6	11,0	19,3	22,2	2,9
2021	5,7	5,6	10,4	12,5	1,7
Среднее	13,4	14,1	21,8	23,4	
+– к контролю	–	0,7	8,4	10,0	

Примечание. На первой пшенице азотные удобрения не вносили, но применение их в последующих полях севооборота оказывало последствие. Здесь и в табл. 2 и 6 П – последствие.

ющего азот, существенное повышение клейковины выявлено в течение трех лет. Среднее увеличение к контролю составило 5–6% в абсолютной величине. Понижение содержания клейковины в зерне в 2016 и 2017 гг. связано с получением достаточно высокой урожайности. Имело значение и поражение растений стеблевой ржавчиной.

Не менее важным признаком качества пшеницы является выполненность зерна (масса 1000 зерен). В условиях опыта этот показатель варьировал по годам и вариантам от 24,4 до 42,7 г. Применение удобрений оказывало положительное действие на массу 1000 зерен в основном в вариантах с азотом, особенно на фоне полного минерального удобрения $N_{54}P_{27}K_{16}$, за счет которого на второй и третьей пшенице после пара ее величина повышалась на 2–4–6 г.

Влияние удобрений на агрохимические свойства почвы. Воздействие удобрений на многие свойства почвы происходит медленно

и постепенно, поэтому следует обратиться к результатам исходных анализов почвы в 1-й ротации и сравнить их с данными, полученными через 30 лет в 6-й ротации. Даже на такие мало меняющиеся свойства почвы, как гумус, сумма поглощенных оснований, содержание валового азота и фосфора, удобрения оказали воздействие. Заметнее за 30 лет увеличилось количество подвижного фосфора, а также повысилась кислотность почвы (см. табл. 3).

Представляет интерес связь изменчивости урожайности пшеницы за 1–6-ю ротации с содержанием гумуса в каждой из последующих ротаций. Сумма растительных остатков напрямую определяется уровнем урожайности культур севооборота; нами рассмотрена урожайность пшеницы. Солома оставалась на поле с 1978 г. (с появлением комбайна Сампо-500). Анализ почвы проводили в год начала ротации в каждой из закладок опыта. В этой сложной зависимости нет полного соответствия, однако в большинстве сравнений обнаружено повыше-

Табл. 2. Содержание клейковины в зерне первой – третьей пшеницы после пара в 10–11-й ротациях, %

Table 2. Gluten content in the grain of the first - third wheat after fallow in the 10th-11th rotations, %

Вариант	Год						Среднее	3-й класс зерна, % лет
	2014	2015	2017	2018	2019	2021		
Первая пшеница после пара								
Контроль	26,7	18,7	20,7	24,3	17,9	29,1	22,9	50
$P_{27}K_{16}$	27,0	19,5	20,0	24,5	17,4	28,9	22,9	50
$PN_{54}K_{16}$	28,0	19,0	23,0	23,0	19,6	28,8	23,6	67
$PN_{54}P_{27}K_{16}$	28,0	19,0	24,5	22,2	20,6	29,0	23,9	50
НСР ₀₅ , %							1,44	
Вторая пшеница после пара								
Вариант	2015	2016	2018	2019	2020			
Контроль	13,2	15,2	24,5	19,9	22,6	19,1	40	
$P_{27}K_{16}$	14,0	14,0	24,5	22,3	20,0	19,0	20	
$N_{54}K_{16}$	16,0	16,5	30,0	31,4	27,3	24,2	60	
$N_{54}P_{27}K_{16}$	14,0	16,5	32,0	30,0	30,6	24,6	60	
НСР ₀₅ , %							3,32	
Третья пшеница после пара								
Вариант	2016	2017	2018	2020	2021			
Контроль	15,5	21,5	26,1	21,0	28,3	22,5	40	
$P_{27}K_{16}$	16,0	22,0	29,4	23,2	26,0	23,3	60	
$N_{54}K_{16}$	17,0	21,5	41,0	34,2	29,0	28,5	60	
$N_{54}P_{27}K_{16}$	17,0	22,0	36,4	31,3	32,0	27,7	60	
НСР ₀₅ , %							4,63	

ние содержания гумуса после ротаций с более высокой урожайностью (см. табл. 4).

Подсчеты сделаны в среднем по трем закладкам опыта. Вполне очевидно, что после получения урожайности в пределах 18–22 ц/га в 1-й ротации содержание гумуса во 2-й было выше, чем в 3-й, после 16–20 ц/га – во 2-й. Еще заметнее повысился гумус в 4-й ротации за счет большего количества растительных остатков при урожайности 17–27 ц/га. Снижение продуктивности в 4-й ротации до 12–

18 ц/га привело к уменьшению гумуса в 5-й ротации до 5,63–6,61% (см. табл. 4).

Даже без учета предполагаемых по урожайности растительных остатков в поле предшественника пшеницы просматривается обсуждаемая связь. С 1997 г. для суммы остатков имела значение величина урожайности овса, которая в 6–8-й ротациях в среднем по трем закладкам эксперимента равнялась 9–22–25 ц/га, поэтому в 9-й ротации в 2011 г. отмечены повышенные показатели.

Табл. 3. Изменение агрохимических показателей выщелоченного чернозема за 30 лет опыта в с. Мальцево (среднее по трем закладкам)

Table 3. Changes in agrochemical indicators of leached chernozem over 30 years of experience in the village of Maltsevo (average of three establishments)

Вариант	Гумус, %	pH _{вод.}	pH _{ксл.}	Общий азот, %	Общий фосфор, %	Ca + Mg, мг-экв./100 г	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г
<i>1-я ротация</i>								
N ₀ P ₀ K ₀	6,30	6,6	6,1	0,288	0,134	36,4	0,175	13,8
PK	6,57	6,6	6,0	0,292	0,135	36,4	0,177	13,8
NK	6,66	6,5	6,2	0,321	0,138	37,2	0,176	13,3
NPK	6,68	6,5	6,2	0,321	0,139	37,2	0,176	13,3
<i>Через 30 лет, 6-я ротация</i>								
N ₀ P ₀ K ₀	6,43	6,3	5,2	0,290	0,148	38,4	0,645	13,6
PK	7,28	6,2	5,2	0,346	0,170	39,0	1,456	13,9
NK	7,41	6,2	5,2	0,321	0,161	38,6	0,469	14,0
NPK	7,34	6,2	5,2	0,310	0,179	37,2	1,954	13,0

Примечание. P₂O₅ – по Францесону, K₂O – по Бровкиной.

Табл. 4. Влияние колебаний продуктивности пшеницы по ротациям севооборота на изменчивость содержания гумуса в слое почвы 0–20 см

Table 4. The effect of fluctuations in wheat productivity by rotation of crop rotation on the variability of humus content in the soil layer 0-20 cm

Вариант	Ротация, годы					
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я
	1968–1975	1974–1980	1979–1985	1984–1990	1989–1995	1994–2000
<i>Урожайность пшеницы, ц/га</i>						
Контроль	18,6	16,0	17,4	12,9	10,3	13,1
PK	19,6	17,2	18,7	14,2	12,1	13,9
NK	21,2	17,4	24,5	16,2	14,1	17,6
NPK	22,6	20,0	27,6	18,0	16,0	19,0
<i>Содержание гумуса, %</i>						
Вариант	2-я 1974–1977	3-я 1979–1981	4-я 1984–1987	5-я 1989–1992	6-я 1994–1997	9-я 2011
Контроль	6,72	6,24	6,55	5,63	6,43	6,90
PK	7,21	6,81	7,39	6,43	7,28	7,10
NK	7,12	6,72	7,84	6,61	7,41	7,10
NPK	6,86	6,85	7,39	6,30	7,34	7,33

Подробно в опыте исследовано содержание в почве подвижного P_2O_5 по методу Францесона, которое менялось как во времени, так и под влиянием удобрений. В табл. 5 приведены эти данные по закладке 1968 г. Получаемые ежегодно материалы за 37 лет разбиты на семь периодов, подсчитано среднее за 2 года.

Ежегодное применение фосфорного удобрения заметно обогатило почву подвижным фосфором. Поввысилось его содержание и в вариантах без фосфора, что объясняется переносом почвы с одних делянок на соседние при проведении обработки на участке под опытом поперек вариантов. До 2011 г. проводили осеннюю вспашку, весеннее боронование и предпосевную культивацию.

Экономическая эффективность разного состава удобрения. Выгодны ли удобрения в новых агротехнических и агрохимических условиях опыта? Окупаемость азота и фосфора должна быть не менее 8–10 кг/кг. По данным табл. 6, оплата фосфора прибавками зерна ниже нормы. В отличие от этого окупаемость азота превышала ее значительно и равнялась 16–19 кг/кг на второй пшенице после пара и 12–15 – на третьей.

Подсчеты окупаемости в рублях также показали, что наиболее выгодным было применение азотного удобрения. В 2020, 2021 гг. цена 1 ц селитры составляла 1800 р., зерна 3-го класса 1600 р./ц; доза N_{54} в виде аммиачной селитры – 2772 р./га, с расходами на внесение и уборку дополнительного урожая 4822 р./га. Прибавка от азота 8–10 ц/га по цене, скорректированной на основе повторяемости получения зерна 3-го класса, стоит 12 480–15 600 р./га, т.е. очевидно получение высокой прибыли.

В отношении аммофоса важно решить, нужно ли его вносить под пшеницу по пару в условиях, которые сложились в опыте: высокое содержание подвижного P_2O_5 и малая средняя прибавка зерна – 1,6 ц/га. В настоящее время 1 ц аммофоса стоит 5400–5700 р., доза P_{27} – 2916–3078 р./га, с затратами на внесение и уборку прибавки зерна – 3966–4063 р./га. Прибавка 1,6 ц/га при повторяемости зерна 3-го класса за 50% лет стоит 2480 р./га. Расходы на покупку и применение удобрения не покрываются стоимостью прироста урожайности. Лучшая из прибавок от фосфора, добавляемого к азоту (2,8 ц/га), оценена суммой 4368 р./га, но это незначительно превышает сумму затрат на аммофос. Следовательно, пока сохраняется повышенное содержание подвижного фосфора в почве, в зернопаровом севообороте можно обходиться применением лишь азотных удобрений. При снижении содержания подвижного фосфора до 40–60 мг/кг почвы необходимо применять дорогостоящий аммофос.

При подробном рассмотрении эффектов от фосфора на первой пшенице отмечено получение существенных прибавок: 11 раз за 26 лет проведения вспашки (2–3 ц/га) и 6 раз за следующие 7 лет с поверхностной обработкой почвы (2–7 ц/га). При добавлении фосфора к азоту на втором и третьем посевах после пара отмечены прибавки в размере 2–7 ц/га 8 раз за годы вспашки. После 8-летнего перерыва применения фосфора внесение его в годы поверхностной обработки почвы получен прирост урожайности 2–5 ц/га на второй культуре 4 раза за 7 лет и 5 раз за 8 лет – 2–3 ц/га на третьей. Учитывая проявление более высоких прибавок, чем средние эффекты, можно перейти на применение меньшей дозы P_{15} и вносить

Табл. 5. Изменчивость содержания P_2O_5 по Францесону в слое почвы 0–20 см в течение 37 лет опыта, мг/100 г

Table 5. Variability of the content of P_2O_5 according to Franceson in the soil layer of 0–20 cm during 37 years of experience, mg/100 g

Вариант	Годы						
	1969, 1970	1974, 1975	1979, 1980	1987, 1988	1993, 1994	1998, 1999	2003, 2005
Контроль	0,136	0,151	0,270	0,368	0,482	0,672	0,545
PK	0,170	0,314	0,492	0,815	1,137	1,703	1,186
NK	0,164	0,165	0,244	0,275	0,272	0,442	0,485
NPK	0,222	0,314	0,634	0,722	1,446	1,641	1,396
HCP ₀₅				0,27			

Табл. 6. Окупаемость азота и фосфора по посевам яровой пшеницы в зернопаровом севообороте в 10-й и 11-й ротациях, кг/кг

Table 6. Nitrogen and phosphorus profitability for spring wheat in the grain and fallow crop rotation in the 10th and 11th rotations, kg/kg

Пшеница после пара					
первая		вторая		третья	
Контроль	—	Контроль	—	Контроль	—
P ₂₇ ПК	5,9	P ₂₇ ПК	6,7	P ₂₇ ПК	2,6
PN ₅₄ ПК	—	N ₅₄ ПК	19,4	N ₅₄ ПК	15,6
PN ₅₄ P ₂₇ ПК	2,4	N ₅₄ P ₂₇ ПК	16,4	N ₅₄ P ₂₇ ПК	12,3

ее при посеве, что повысит прибавку и окупаемость фосфора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение эффективности разного состава удобрений на посеве пшеницы в зернопаровом севообороте в 10-й и 11-й ротациях на тяжело-суглинистом выщелоченном черноземе, богатым подвижным фосфором, в северо-западной зоне Курганской области показало, что первоочередным в улучшении питания растений оказалось применение азотного удобрения. Такой же закономерностью характеризовалось действие разного состава и ранее в среднем в 1–9-й ротациях зернопаропропашного севооборота в годы проведения вспашки. В 10-й и 11-й ротациях азот обеспечивал высокие прибавки на посевах пшеницы, удаленных от пара – 8–10 и 10–13 ц/га в сочетании с фосфором соответственно. Средний эффект от азота за 1–9-ю ротации ниже – 6–7 ц/га, возможно, за счет улучшения условий питания непосредственно от проведения вспашки, а также от влияния частых засух. Прибавка урожайности от применения фосфора в первом посеве после пара была невысокой – 1,6 ц/га, однако в начальный период опыта, пока почва была беднее фосфором, в ряде лет проявлялось очень высокое действие фосфорного удобрения с получением прибавок пшеницы по пару до 7 ц/га. Позднее и при вспашке, и поверхностной обработке прирост урожайности от фосфора ограничивался в среднем 2 ц/га, что означало невысокую окупаемость дорогостоящего фосфорного удобрения. Учитывая получаемые в части лет более высокие эффекты от фосфора, можно перейти на применение меньшей дозы (P₁₅) и вносить ее при посеве. Это способно

повысить прибавку и обеспечить неплохую окупаемость фосфорного удобрения. В следующих полях прибавка от фосфора чаще отмечена только на фоне азотного удобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завалин А.А., Соколов Д.А., Шмырева Н.Я. Азот в агроecosистеме на черноземных почвах. Регулирование в современных условиях: монография. М.: Издательство РАН, 2018. 180 с.
2. Волынкина О.В. Фосфорное удобрение усиливает действие азота на урожай и качество пшеницы // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 1. С. 21–25. DOI: 10.26178/AE.2019.21/62.004.
3. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Оптимизация доз азотных и фосфорных удобрений на черноземных почвах Поволжья с различным содержанием фосфора // Плодородие. 2017. № 2. С. 8–11.
4. Шафран С.А., Духанина Т.М. Значение комплексного агрохимического окультуривания в повышении эффективности применения азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. 2017. № 11. С. 21–30. DOI: 10.7868/S0002188117110035.
5. Шафран С.А. Почва, удобрение, урожай: монография. М.: «Листерра», 2019. 471 с.
6. Семенова Е.А., Афанасьев Р.А. Эффективность применения удобрений под яровую пшеницу в условиях Уральского региона // Плодородие. 2018. № 6. С. 2–8. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.01.
7. Донгак М.М. Влияние климатических условий на продуктивность выделенных селекционных линий мягкой яровой пшеницы в Республике Тыва // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 11. Ч. 1. С. 107–111.

8. Окорков В.В., Батяхина Н.А. К совершенствованию агротехники возделывания яровой пшеницы // Владимирский земледелец. 2018. № 2 (84). С. 16–19.
9. Пахотина И.В., Игнатиева Е.Ю., Зелова Л.А., Белан И.А., Россеева А.П., Блохина Н.П. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы на устойчивость формирования сильного и ценного по качеству зерна в условиях Западной Сибири // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 29–36.
10. Кириллова Е.В., Копылов А.Н. Влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почвы // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 31–36.
11. Ионина Н.В., Волюнкина О.В., Копылов А.Н. Влияние удобрений на урожайность зерновых культур полевых севооборотов в северо-западной зоне Курганской области // Агрохимия. 2019. № 9. С. 33–43. DOI: 10.1134/S0002188119090059.
5. Shafran S.A. *Soil, fertilizer, crop*. Moscow, Listerra Publ., 2019, 471 p. (In Russian).
6. Semenova E.A., Afanasyev R.A. Efficiency of application of fertilizers for spring wheat in the conditions of the Ural region. *Plodorodie = Plodorodie*, 2018, no. 6, pp. 2–8. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.01.
7. Dongak M.M. Influence of climatic conditions on efficiency of the allocated selection lines of soft spring wheat in the Republic of Tyva. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2017, no. 11, p. 1, pp. 107–111.
8. Okorkov V.V., Batyakhina N.A. To the improvement of agricultural technology of spring wheat cultivation. *Vladimirskii zemledelets = Vladimir agricolist*, 2018, no. 2 (84), pp. 16–19. (In Russian).
9. Pakhotina I.V., Ignatieva E.Yu., Zelova L.A., Belan I.A., Rosseeva A.P., Blokhina N.P. Evaluating varieties of spring soft wheat according to stability of forming strong and valuable grain in the conditions of the South of Western Siberia. *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in current natural sciences*, 2018, no. 9, pp. 29–36. (In Russian).
10. Kirillova E.V., Kopylov A.N. Influence of different fertilizer systems on changes in agrochemical properties of soil. *Agrarny vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2017, no. 4 (158), pp. 31–36. (In Russian).
11. Ionina N.V., Volynkina O.V., Kopylov A.N. The effect of fertilizers on the yield of grain crops of field crop rotations in the northwestern zone of the Kurgan region. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2019, no. 9, pp. 33–43. (In Russian). DOI: 10.1134/S0002188119090059.

REFERENCES

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Волюнкина О.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 620142, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: volynkina.o@bk.ru

Ионина Н.В., старший научный сотрудник; e-mail: nyura.ionina@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Olga V. Volynkina**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 112a, Belinsky St., 620142, Ekaterinburg, Russia; e-mail: volynkina.o@bk.ru

Natalya V. Ionina, Senior Researcher; e-mail: nyura.ionina@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 23.08.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 02.02.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-2>

УДК: 631.52:633.16

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

АДАПТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Сурин Н.А., (✉)Герасимов С.А., Ляхова Н.Е.

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Красноярск, Россия

(✉)e-mail: g-s-a2009@yandex.ru

Представлены результаты оценки ярового ячменя в питомнике конкурсного сортоиспытания по параметрам адаптивности и экологической пластичности в условиях Красноярской лесостепи. Объектами исследования, проводившегося в 2020–2022 гг., являлись районированные сорта и линии местной селекции. В качестве стандарта принят сорт Ача. Почва опытного поля – обыкновенный маломощный чернозем. Повторность четырехкратная, метод сравнения парный. Посев проведен в оптимальные сроки – 20–25 мая, норма высева – 5,5 млн всхожих семян/га. По режиму увлажнения 2020 и 2021 гг. были избыточно влажными ($ГТК = 1,84–1,89$), при этом 2021 г. оказался достаточно увлажненным. В 2022 г. наблюдалась майская засуха ($ГТК = 0,27$). По итогам проведенных исследований выделен ценный селекционный материал. Наибольшей продуктивностью (43,2 ц/га) по отношению к стандарту отличалась линия Д-7-7057 (Л-11-38 × Буян). Сорта Ача, Красноярский 80, линия Д-7-7057 по экологической пластичности были отнесены к интенсивному типу ($b_i = 1,17–1,21$), сорт Кедр меньше всего реагировал на улучшение условий выращивания ($b_i = 0,86$). Селекционная линия В-56-6885 (Биом × Сибиряк) оказалась самой стабильной, отличалась повышенными показателями средней урожайности (41,3 ц/га), экологической стабильности ($S_i^2 = 417,1$, $SF = 2,82$), селекционной ценности генотипа ($S_c = 6,73$), имела среднюю экологическую пластичность ($b_i = 1,01$). Среди сортов интенсивного типа наибольший интерес представляет линия Д-7-7057 (Л-11-38 × Буян) с самой высокой урожайностью (43,2 ц/га), средними параметрами стабильности ($S_i^2 = 723,9$, $SF = 4,02$) и повышенной пластичностью ($b_i = 1,17$). В ходе эксперимента установлено, что основной вклад в формирование урожая вносят селекционные признаки, связанные с плотностью посева (число растений перед уборкой, продуктивный стеблестой и кущение) и продуктивностью отдельного растения (масса зерна с одного растения, масса 1 тыс. зерен).

Ключевые слова: ячмень, сорт, селекционная линия, урожайность, экологическая пластичность, стабильность, селекционная ценность

ADAPTABILITY AND ECOLOGICAL PLASTICITY OF BARLEY UNDER FOREST-STEPPE CONDITIONS OF THE KRASNOYARSK TERRITORY

Surin N.A., (✉)Gerasimov S.A., Lyakhova N.E.

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture - Division of Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS»

Krasnoyarsk, Russia

(✉)e-mail: g-s-a2009@yandex.ru

The results of spring barley assessment by the parameters of adaptability and ecological plasticity in the Krasnoyarsk forest-steppe conditions are presented. The objects of the study, conducted in 2020–2022, were the released varieties and lines of local breeding. The Acha variety was adopted as the

standard. The soil of the experimental field is ordinary low-power chernozem. Repetition is fourfold, and the comparison method is paired. Sowing was carried out in optimal time - May 20-25, the seeding rate - 5.5 million germinated seeds/ha. In terms of moisture regime, 2020 and 2021 were excessively wet ($HTC = 1.84-1.89$), while 2021 was sufficiently wetted. May drought was observed in 2022 ($HTC = 0.27$). As a result of the research, valuable breeding material was selected. The highest productivity (43.2 c/ha) in relation to the standard showed the line D-7-7057 (L-11-38 × Buyan). The varieties Acha, Krasnoyarsk 80, line D-7-7057 on environmental plasticity were attributed to the intensive type ($b_i = 1.17-1.21$), the variety Kedr reacted the least to improvement of the growing conditions ($b_i = 0.86$). The breeding line B-56-6885 (Biom × Sibiryak) was the most stable, characterized by high indices of average yield (41.3 c/ha), environmental stability ($S_i^2 = 417.1$, $SF = 2.82$), breeding value of the genotype ($S_c = 6.73$), and had average environmental plasticity ($b_i = 1.01$). Among the varieties of the intensive type, the line D-7-7057 (L-11-38 × Buyan) with the highest yield (43.2 c/ha), medium stability parameters ($S_i^2 = 723.9$, $SF = 4.02$) and increased plasticity ($b_i = 1.17$) is of greatest interest. During the experiment it was found that the main contribution to the formation of the yield is made by the breeding traits associated with crop density (the number of plants before harvesting, productive stem and tillering) and the productivity of individual plants (grain weight per plant, thousand-kernel weight).

Keywords: barley, variety, line, yield, ecological plasticity, stability, selection value

Для цитирования: Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е. Адаптивность и экологическая пластичность ячменя в условиях лесостепи Красноярского края // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 15–23. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-2>

For citation: Surin N.A., Gerasimov S.A., Lyakhova N.E. Adaptability and ecological plasticity of barley under forest-steppe conditions of the Krasnoyarsk Territory. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 15–23. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», тема № 0297-2021-0039 «Изучение, подбор генетического материала для создания новых адаптивных сортов и разработка технологий первичного и промышленного семеноводства новых сортов зерновых культур».

Acknowledgements

The work was carried out in accordance with the state assignment of the Federal Research Center «Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», topic no. 0297-2021-0039 «Study, selection of genetic material for the creation of new adaptive varieties and the development of technologies for primary and industrial seed production of new varieties of grain crops».

ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень – наиболее востребованная и распространенная культура в Красноярском крае. В 2020–2022 гг. площадь посевов ярового ячменя в регионе составила около 160 тыс. га. Ячмень широко используется как фуражная и крупяная культура. Он отличается более высокой урожайностью и коротким вегетационным периодом по сравнению с пшеницей и овсом.

В настоящее время все большую актуальность приобретает возделывание сортов, адаптированных к местным условиям

и имеющих высокую урожайность [1–3]. Сложность решения указанной проблемы связана с низким биоклиматическим потенциалом региона. Так, если по России данный показатель составляет 1,0, то по Восточной Сибири – 0,52–0,54, Забайкалью, Хакасии и Тыве – 0,46–0,48¹. В этих условиях выбор того или иного сорта оказывается очень важной задачей. Как считает Н.А. Родина², с сорта начинается любая система земледелия и по своей сути сорт является биологическим фундаментом урожая. По утверждению А.А. Жученко³, П.Л. Гончарова (см. сно-

¹Гончаров П.Л. Методика селекции кормовых трав в Сибири. Новосибирск, 2003. 396 с.

²Родина Н.А. Селекция ячменя на северо-востоке Нечерноземья. Киров, 2006. 486 с.

³Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений и проблемы агрофитосферы. М., 2004. Т. 1. С. 49–63.

ску 1), Н.А. Родиной (см. сноску 2), вклад сорта в повышение урожая составляет 50–70%.

В селекции на продуктивность важно добиться положительного сочетания высокой урожайности, ее стабильности и уровня отзывчивости растений на интенсивный фон [4, 5]. В связи с особенностями климата Красноярского края новые сорта должны одновременно обладать хорошей устойчивостью к стрессовым факторам внешней среды, высокими урожайностью и качеством зерна [6].

В процессе исследований установлено, что потенциальная продуктивность и экологическая устойчивость растений контролируются разными комплексами генов, поэтому возникает реальная возможность сочетания этих признаков в одном сорте. Признано, что селекция является основным способом повышения адаптивности растений и качества урожая [7].

Оценка экологической адаптивности на основе параметров продуктивности позволяет более целенаправленно использовать исходный материал и эффективно подбирать сорта под различные почвенно-климатические условия для максимальной реализации их потенциальной урожайности.

Цель исследования – оценить сорта и селекционные линии ячменя по урожайности и показателям адаптивности в условиях Красноярской лесостепи.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2020–2022 гг. в открытой лесостепи Красноярского края. Почва опытного участка – обыкновенный маломощный чернозем. Предшественник – чистый пар. Содержание гумуса в пахотном горизонте от 4,2 до 7,0%. Содержание ни-

тратного азота ($N-NO_3$) 6,8–13,4 мг/кг почвы, фосфора – 17,5–22,2 мг/100 г почвы, калия – 12,3–19,0 мг/100 г почвы. Реакция почвенного раствора ($pH_{\text{водн}}$) 6,1–6,6.

Погодные условия вегетационного периода ячменя отличались по среднесуточной температуре воздуха и количеству выпавших осадков от среднемноголетних значений (см. табл. 1). В мае и августе 2020 г. при повышенной среднесуточной температуре воздуха было зафиксировано избыточное увлажнение, что спровоцировало полегание посевов к уборке. В 2021 г. июль оказался избыточно влажным, август – теплым и умеренно влажным. В 2020 и 2021 гг. величина гидротермического коэффициента (ГТК) составила 1,84–1,89, при этом 2021 г. характеризовался как достаточно увлажненный. В 2022 г. май и июнь были теплыми, в июне наблюдалось обильное выпадение осадков.

Учетная площадь делянок в конкурсном сортоиспытании составила 37–40 м². Повторность четырехкратная, метод сравнения парный. Стандартный сорт – Ача. Посев провели в оптимальные сроки – 20–25 мая. Норму высева 5,5 млн всхожих семян/га.

Статистическую обработку данных выполняли по Б.А. Доспехову [8]. Для характеристики адаптивного потенциала проводили расчет индекса экологической пластичности (b_i) и стабильности (S_i^2) по S.A. Eberhart, W.A. Russel в изложении В.З. Пакудина⁴, генетическую гибкость сорта (ГГ) определяли по А.А. Гончаренко⁵, гомеостатичность (Hom) – по методике В.В. Хангильдина и С.В. Бирюкова⁶, показатель фенотипической изменчивости (SF) – по D. Lewis⁷, селекционную ценность генотипов (S_c) – по А.В. Кильчевскому и Л.В. Хотылевой⁸.

⁴Пакудин В.З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов: теория отбора в популяциях растений. Новосибирск, 1976. 189 с.

⁵Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 6. С. 49–53.

⁶Хангильдин В.В., Бирюков С.В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях // Генетико-цитологические аспекты в селекции сельскохозяйственных растений. 1984. № 1. С. 67–76.

⁷Lewis D. Gene-environment interaction: a relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. Vol. 8. P. 333–356.

⁸Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генотип и среда в селекции растений. Минск: Наука и техника, 1989. 191 с.

Табл. 1. Агрометеорологические условия в период проведения опыта
Table 1. Agrometeorological conditions during the experiment

Показатель	2020 г.					2021 г.					2022 г.					Среднегодовое значение				
	Май	Июнь	Июль	Август	За вегетацию	Май	Июнь	Июль	Август	За вегетацию	Май	Июнь	Июль	Август	За вегетацию	Май	Июнь	Июль	Август	За вегетацию
Средняя температура воздуха, °С	14,0	15,7	18,9	17,4	16,5	9,8	15,5	19,7	17,4	15,6	13,8	17,0	17,6	14,9	15,8	10,1	15,0	19,3	16,2	15,2
Количество осадков, мм	44,9	96,0	109,0	79,0	328,9	30,3	121,8	48,0	63,0	263,1	15,1	75,0	49,0	65,1	204,2	29,0	44,0	65,0	61,0	199,0
ГТК	1,30	2,80	1,83	1,63	1,89	2,77	2,63	0,80	1,17	1,84	0,27	1,80	0,90	1,57	1,14	1,47	1,07	1,37	1,20	1,28

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность сортов, как правило, складывается из отдельных элементов продуктивности, которые оказывают взаимное влияние друг на друга [9].

Одним из важных факторов, связанных с высокой урожайностью, является продолжительность вегетации. По данному показателю все сорта и линии, рассматриваемые в статье, не отличались от стандарта и были отнесены к числу среднеспелых, за исключением сорта Такмак, практически созревшего на 1–4 дня позднее остальных сортов (см. табл. 2).

Количество растений перед уборкой у изучаемых сортов было таким же, как у стандартного сорта Ача, либо ниже. Максимальную продуктивную кустистость (1,63–1,67 шт.) имели сорт Оленек и линия Д-7-7057, созданные по программе адаптивной селекции, а также селекционная линия Д-39-7318. Наибольшее число продуктивных стеблей (на 39–48 шт./м² больше стандарта) выявлено у селекционных линий Д-7-7057 и Д-39-7318. По количеству зерен в колосе на 1,3–3,8 шт. имел преимущество сорт Буян, выявленный нами в качестве донора в диаллельных скрещиваниях, а также сорта Оленек и Такмак, селекционные линии В-56-6885 и Д-39-7318.

Масса 1 тыс. зерен является ведущим селекционным признаком, особенно при возделывании в засушливых условиях, что, как правило, характерно для скороспелых сортов [10]. По массе 1 тыс. зерен имели преимущество сорта Кедр, Абалак и селекционные линии Д-7-7057, Д-55-7455 (+3,3–4,8 г).

В селекции на увеличение продуктивности зерновых культур важная роль отводится повышению продуктивности и выходу зерна с одного растения [11]. По массе зерна с одного растения превышение по сравнению со стандартом показали сорт Буян и селекционные линии Д-7-7057, Д-39-7318 (+0,15–0,20 г). Более высокие показатели продуктивного стеблестоя перспективных линий Д-7-7057 и Д-39-7318 оказали положительное влияние на величину урожая.

Табл. 2. Вегетационный период и элементы продуктивности сортов и селекционных линий ячменя, участвовавших в конкурсном сортоиспытании (среднее за 2020–2022 гг.)

Table 2. Growing season and productivity elements of barley varieties and breeding lines that participated in competitive variety trials (average for 2020–2022)

Сорт, линия	Вегетационный период, дни		Количество растений перед уборкой, шт./м ²		Продуктивное кущение, шт.		Продуктивный стеблестой, шт./м ²		Число зерен в колосе, шт.		Масса 1 тыс. зерен, г		Масса зерна с одного растения, г	
	$\bar{X}$	$CV, \%$	$\bar{X}$	$CV, \%$	$\bar{X}$	$CV, \%$	$\bar{X}$	$CV, \%$	$\bar{X}$	$CV, \%$	$\bar{X}$	$CV, \%$	$\bar{X}$	$CV, \%$
Ача	77	9,8	419	11,5	1,40	7,1	585	15,9	18,4	17,4	39,9	9,3	1,05	70,5
К-80	78	9,2	343	18,2	1,57	18,4	542	12,2	18,8	16,9	42,7	10,4	1,09	64,0
Кедр	79	8,7	320	12,8	1,60	12,5	510	7,6	18,0	24,4	43,9	7,2	0,97	69,8
Бахус	78	10,0	348	9,1	1,60	25,0	547	22,8	18,0	23,3	42,9	7,5	0,95	65,3
Буян	78	9,4	319	10,8	1,43	22,4	450	14,7	22,2	20,8	39,3	17,4	1,20	83,6
Оленек	79	9,6	306	20,8	1,67	25,0	479	10,2	19,7	23,3	39,5	7,4	0,91	69,3
Абалак	77	10,5	396	25,1	1,43	14,5	569	31,5	18,7	21,5	44,1	12,2	0,97	63,1
Такмак	80	10,5	367	10,0	1,40	7,1	551	10,8	21,0	18,1	40,6	8,4	1,03	53,1
В-56-6885	78	9,0	394	13,5	1,37	15,2	524	4,1	20,6	23,2	41,9	13,3	1,00	61,2
Д-7-7057	77	9,4	395	24,9	1,63	27,6	633	21,1	17,9	16,6	44,7	10,1	1,25	86,5
Д-39-7318	77	11,5	394	31,9	1,63	19,7	624	20,3	20,5	18,4	38,9	17,8	1,23	95,2
Д-55-7455	76	9,8	404	11,7	1,50	13,3	596	3,3	18,2	19,4	43,2	10,3	1,04	68,5
НСР ₀₅	1		46		0,20		47		0,5		3,0		0,10	

На основе оценки адаптивного потенциала установлено, что сорт Такмак и линия Д-7-7057 имеют наибольшую генетическую гибкость ($ГГ = 40,4–42,2$), что указывает на их способность противостоять неблагоприятным факторам и в то же время положительно отзываться на улучшение условий. В оптимальных и лимитированных условиях данные образцы показали наибольшую урожайность (41,5–43,2 ц/га). Сопряженность высокой генетической гибкости и более низкого коэффициента вариации (CV) свидетельствует о реальной способности сорта Такмак, селекционных линий Д-7-7057 и Д-39-7318 формировать более высокий урожай (см. табл. 3).

По экологической пластичности сорта Ача, Красноярский 80, линия Д-7-7057 отнесены нами к интенсивному типу. Это означает, что в благоприятные годы указанные сорта способны давать максимальный урожай, однако в стрессовых условиях при их возделывании можно будет получить более низкие урожаи по сравнению с другими сортами. Сорт Кедр слабо реагировал на различные условия выращивания, на что указывают низкое значение экологической пластично-

сти ($b_i = 0,86$), коэффициента варьирования урожайности ($CV = 52,3\%$) и самая высокая фенотипическая стабильность ($S_i^2 = 285,8$). Сорта Бахус, Буян, Оленек, Абалак, линии Д-39-7318 и Д-55-7455 имели средний уровень экологической пластичности ($b_i = 0,92–1,10$), отличались лучшей приспособленностью к факторам внешней среды и урожайностью на уровне стандарта.

В селекции стабильных по продуктивности сортов наибольший практический интерес представляет линия В-56-6885, сочетающая более высокую среднюю урожайность (41,3 ц/га), экологическую стабильность ($S_i^2 = 417,1$, $SF = 2,82$), полунинтенсивную реакцию на оптимальный фон ($b_i = 1,01$) с повышенной селекционной ценностью генотипа ($S_c = 6,73$). В случае создания сортов интенсивного типа необходимо, чтобы они обладали прежде всего высокой урожайностью, средним уровнем экологической стабильности и высоким уровнем реакции на интенсивный фон. По указанным критериям можно выделить линию Д-7-7057, которая совмещает в себе высокую урожайность (43,2 ц/га) и среднюю стабильность ($S_i^2 = 723,9$, $SF = 4,02$). Указанная линия явля-

Табл. 3. Показатели адаптивности перспективных сортов и линий ярового ячменя в условиях Красноярской лесостепи
Table 3. Indicators of adaptability of the promising varieties and lines of spring barley in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe

Сорт, линия	Происхождение	Урожайность, ц/га				Показатели адаптивности						
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	$\bar{X}$	CV, %	ГГ	b_i	S_i^2	Hom	SF	S_e
Ача	(Паратон × Кристина) × (Джет × Обской) × (Новосибирский 1 × Винер)	41,3	14,2	60,2	38,6	60,0	37,2	1,21	908,9	1,7	4,24	5,45
К-80	С-80 × Una	32,8	14,7	58,6	35,4	62,4	36,7	1,17	693,1	1,6	3,99	5,53
Келдр	Винер × Birgitta	34,6	13,9	46,7	31,7	52,3	30,3	0,86	285,8	1,9	3,36	4,94
Бахус	(Винер × Донецкий 650) × (Винер × Красноуфимский 95)	43,6	19,9	55,5	39,7	45,7	37,7	1,02	398,0	2,2	2,79	6,50
Буян	Кедр × Jo 1345	33,9	16,7	56,7	35,8	56,1	36,7	1,10	581,8	1,8	3,40	5,91
Оленек	[(Винер × Красноуфимский 95) × (Винер × Донецкий 650)] × Ача	34,0	18,9	49,0	34,0	44,3	34,0	0,98	558,1	2,3	2,59	5,81
Абалак	(Красноярский 80 × Drop (Франция)) × Са 46925 (Дания)	38,7	19,9	52,2	36,9	43,9	36,1	0,96	540,7	2,3	2,62	6,18
Такмак	Приазовский 9 × У-20-706	40,2	24,2	60,1	41,5	43,3	42,2	1,05	681,8	2,3	2,48	7,24
В-56-6885	Биом × Сибиряк	47,2	20,1	56,6	41,3	45,9	38,4	1,01	417,1	2,2	2,82	6,73
Д-7-7057	Л-11-38 × Буян	48,8	16,1	64,7	43,2	57,4	40,4	1,17	723,9	1,7	4,02	6,17
Д-39-7318	Sv.66905 × Буян	40,1	20,7	53,3	38,0	43,1	37,0	0,92	578,3	2,3	2,57	6,37
Д-55-7455	Абалак × К-22092	40,9	20,6	55,7	39,1	45,1	38,2	0,93	619,9	2,2	2,70	6,52
НСР ₀₅		5,0	2,7	2,4	3,5							

ется перспективной и планируется для дальнейшего изучения и размножения.

Для определения влияния отдельных селекционных признаков на формирование урожайности изучаемых сортов и селекционных линий был использован метод вращения варимакс (varimax) на базе программы Statistica⁹. В результате проведенного анализа, учитывающего взаимное влияние отдельных признаков, по вегетационному периоду и шести элементам структуры урожая было получено по два фактора в каждый год исследования, в которые вошли преимущественно продуктивное кущение, продуктивный стеблестой, число зерен в главном колосе и масса зерна с одного растения. Доля их влияния составила значимую величину – 32,62 и 31,18% в 2020 г., 32,21 и 31,34% в 2021 г., 42,80 и 30,16% в 2022 г. (см. табл. 4).

В 2020 г. в первый фактор вошли такие положительно связанные с урожайностью признаки, как число зерен в главном колосе ($r = 0,880$) и масса зерна с одного растения ($r = 0,724$), при этом продуктивное кущение имело обратную зависимость ($r = -0,896$). Второй фактор включал число растений перед уборкой ($r = 0,818$) и продуктивный стеблестой ($r = 0,813$), определяющие плотность посева. В 2021 г. в неблагоприятных условиях положительное влияние на продуктивность оказывали признаки первого фактора – продуктивное кущение ($r = 0,726$), число зерен в главном колосе ($r = 0,742$), масса зерна с одного растения ($r = 0,922$). Второй фактор включал число растений перед уборкой ($r = 0,874$) и продуктивный стеблестой ($r = 0,837$). Отмеченные взаимосвязи отдельных элементов продуктивности заметно отличались в 2022 г. Первый фактор составляли продуктивный стеблестой ($r = 0,813$), масса 1 тыс. зерен ($r = 0,719$), у вегетационного периода отмечено отрицательное влияние ($r = -0,891$). Во втором факторе преобладали продуктивное кущение ($r = 0,896$) и масса зерна с одного растения ($r = 0,738$).

⁹Хижняк С.В., Пучкова Е.П. Математические методы в агроэкологии и биологии: учебное пособие. Красноярск: Издательство Красноярского государственного аграрного университета, 2019. 240 с.

Табл. 4. Матрица факторных нагрузок (вращение варимакс) для изученных переменных у сортов и линий ячменя

Table 4. Factor load matrix (varimax rotation) for the studied variables in barley varieties and lines

Селекционный признак	2020 г.		2021 г.		2022 г.	
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2
Продолжительность вегетационного периода	–0,035	–0,622	0,400	–0,677	–0,891*	0,087
Число растений перед уборкой	0,324	0,818*	–0,034	0,874*	0,401	–0,854
Продуктивное кущение	–0,896*	0,0001	0,726*	0,170	0,142	0,896*
Продуктивный стеблестой	–0,020	0,813*	0,375	0,837*	0,813*	0,064
Число зерен в главном колосе	0,880*	0,011	0,742*	0,243	–0,907*	0,095
Масса 1 тыс. зерен	–0,276	0,583	–0,155	–0,418	0,719*	0,117
Масса зерна с одного растения	0,724*	0,352	0,922*	–0,084	0,147	0,738*
Вклад фактора, %	32,62	31,18	32,21	31,34	42,80	30,16

* $p > 0,700$.

Таким образом, доминирующими селекционными признаками, влияющими на урожайность ячменя в условиях Красноярской лесостепи, являются элементы продуктивности, связанные с плотностью посева и продуктивностью отдельных растений.

ВЫВОДЫ

1. Проведенная оценка изучаемых сортов и линий ячменя в конкурсном сортоиспытании по параметрам продуктивности и адаптивности позволила выделить ценный селекционный материал.

2. В ходе испытаний в условиях Красноярской лесостепи самая высокая средняя урожайность (41,3–43,2 ц/га) получена у сорта Такмак, селекционных линий В-56-6885 и Д-7-7057. В результате к сортам интенсивного типа ($b_i = 1,17$ – $1,21$) отнесены также сорта Ача, Красноярский 80, линия Д-7-7057, экстенсивного ($b_i = 0,86$) – сорт Кедр ранней селекции.

3. В селекции стабильных по продуктивности сортов наибольший практический интерес представляет линия В-56-6885 полуинтенсивного типа, сочетающая более высокую среднюю урожайность (41,3 ц/га), экологическую стабильность ($S_i^2 = 417,1$, $SF = 2,82$), среднюю реакцию на оптимальный фон ($b_i = 1,01$) с повышенной селекционной ценностью генотипа ($S_c = 6,73$).

4. В селекции сортов на отзывчивость к улучшенным условиям перспективна линия Д-7-7057 с высокой урожайностью (43,2 ц/га) и средними параметрами стабильности ($S_i^2 = 723,9$, $SF = 4,02$).

5. Ведущими селекционными признаками в годы исследования являлись элементы структуры урожая, отвечающие за формирование плотности посева и продуктивности отдельных растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181 (2). С. 42–49. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
2. Левакова О.В., Ерошенко Л.М., Ромашин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Дедушев И.А., Болдырев М.А. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
3. Сурин Н.А., Бутковская Л.К., Сурина Е.А. Влияние удобрений и сроков посева на качество семян ярового ячменя в Красноярской лесостепи // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 2. С. 12–21. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-2-2.
4. Демина Е.А., Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Чекмасова К.Ю. Оценка адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы в лесостепных условиях Среднего Поволжья // Аграрный вестник Урала. 2021. № 11 (214). С. 8–19. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19.
5. Питоня В.Н., Питоня А.А. Оценка адаптивности и стрессоустойчивости сортов яро-

- вого ячменя для Волгоградской области // Научно-агрономический журнал. 2022. № 1 (116). С. 15–18. DOI: 10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18.
6. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Селекционная оценка и отбор генотипов ячменя восточно-сибирской селекции // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2018. Вып. 3 (48). С. 70–77. DOI: 10.31677/2072-6724-2018-48-3-70-77.
7. Клыков А.Г., Муругова Г.А., Тимошинова О.А., Коновалова И.В., Самагина Ю.В. Адаптивный потенциал сортов и линий зерновых и крупяных культур приморской селекции // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2022. № 3. С. 18–32. DOI: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_2.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): монография. М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
9. Борисов Б.Б., Исламова Ч.М., Фатыхов И.Ш., Мазунина Н.И. Экологическая пластичность и адаптивность сортов ярового ячменя в абиотических условиях Среднего Предуралья // Пермский аграрный вестник. 2020. № 2 (30). С. 31–38. DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10031.
10. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 4. С. 16–21. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21.
11. Долженко Д.О., Шевченко С.Н. Наследование и генетический контроль массы зерна с колоса у ячменя // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2 (62). С. 16–22. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-16-22.
12. khin M.M., Eroshenko A.N., Eroshenko N.A., Dedushev I.A., Boldyrev M.A. Assessment of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation. *Agrarniy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2021, no. 3, pp. 30–33. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.
13. Surin N.A., Butkovskaya L.K., Surina E.A. Influence of fertilizers and sowing dates on the quality of spring barley seeds in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 2, pp. 12–21. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2022-2-2.
14. Demina E.A., Kincharov A.I., Taranova T.Yu., Chekmasova K.Yu. Assessment of adaptability of spring soft wheat varieties in forest-steppe conditions of the Middle Volga region. *Agrarniy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2021, no. 11 (214), pp. 8–19. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19.
15. Pitonya V.N., Pitonya A.A. Adaptability and stress resistance assessment of spring barley varieties for the Volgograd region. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal = Scientific Agronomy Journal*, 2022, no. 1 (116), pp. 15–18. (In Russian). DOI: 10.34736/FNC.2022.116.1.003.15-18.
16. Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Selection and assessment of barley genotypes of Eastern-Siberian selection. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU*, 2018, is. 3 (48), pp. 70–77. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2018-48-3-70-77.
17. Klykov A.G., Murugova G.A., Timoshinova O.A., Konovalova I.V., Samagina Yu.V. Adaptive potential of varieties and lines of grain and cereal crops of coastal breeding. *Vestnik DVO RAN = Vestnik of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2022, no. 3, pp. 18–32. (In Russian). DOI: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_2.
18. Dospekhov B.A. *Field experience methodology (with the basics of statistical processing of study results)*. Moscow: Workbook on demand Publ., 2012, 352 p. (In Russian).
19. Borisov B.B., Islamova Ch.M., Fatykhov I.Sh., Mazunina N.I. Ecological plasticity and adaptability of spring barley varieties in abiotic conditions of the Middle Urals. *Permskiy*

REFERENCES

1. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selek-tsii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2020, vol. 181 (2), pp. 42–49. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
2. Levakova O.V., Eroshenko L.M., Roma-

agrarnyy vestnik = *Perm Agrarian Journal*, 2020, no. 2 (20), pp. 31–38. (In Russian). DOI: 10.24411/2307-2873-2020-10031.

10. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Estimation of spring barley adaptability to the aridity of the Stavropol Territory according to the trait '1000-grain weight'. *Zernovoye khoziaystvo Rossii* = *Grain Economy of Russia*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 16–21. (In Russian).

DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21.

11. Dolzhenko D.O., Shevchenko S.N. Inheritance and genetic analysis of grain weight per spike in barley. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 2021, vol. 16, no. 2 (62), pp. 16–22. (In Russian). DOI: 10.12737/2073-0462-2021-16-22.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сурин Н.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник

✉ **Герасимов С.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 66; e-mail: g-s-a2009@yandex.ru

Ляхова Н.Е., заслуженный агроном РФ, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

Nikolai A. Surin, Doctor of Science in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Head Researcher

✉ **Sergei A. Gerasimov**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher, Laboratory Head; **address:** 66, Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russia; e-mail: g-s-a2009@yandex.ru

Nadezhda E. Lyakhova, Honored Agronomist of the Russian Federation, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 27.03.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 13.04.2023

Дата публикации / Published 20.07.2023

ИЗУЧЕНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА

✉ Кравченко Н.С., Подгорный С.В., Игнатьева Н.Г., Чернова В.Л.

Аграрный научный центр «Донской»
Ростовская область, г. Зерноград, Россия
✉ e-mail: ninakravchenko78@mail.ru

Представлены источники ценных признаков для целенаправленного использования в селекции новых сортов озимой пшеницы с улучшенными признаками качества. Приведены результаты оценки исходного материала по выраженности хозяйственно ценных признаков у коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы. В работе представлены данные по 31 сорту различного эколого-географического происхождения. Полевые опыты проводили в 2018–2020 гг. в селекционном севообороте в условиях южной зоны Ростовской области. Показатели качества сортов: массу 1000 зерен, содержание белка, количество и качество клейковины в зерне, натуру зерна, общую стекловидность, хлебопекарные свойства – определяли по стандартным методикам и ГОСТам. В результате проведенной кластеризации сортов показано, что селекционная программа по созданию адаптивных сортов с высоким качеством зерна должна включать в качестве базового исходного материала сорта, входящие в 5-й и 6-й кластеры, – Л-19578 (Россия), Этана (Германия), Warwick (Канада), Akter (Германия), MV-15-09 (Венгрия), Симонида (Сербия), GK Hollo (Венгрия), Webster (Канада), Wisdom (Канада), № 42 CIMMYT (США) и KS 96 WGRC 37 (США). Данные сорта показали хорошие результаты в условиях южной зоны Ростовской области. Остальные сорта коллекционного питомника рекомендуем включать в селекционную работу в соответствии с принципом комплементарности, как взаимно дополняющие сорта по выраженности того или иного признака или свойства.

Ключевые слова: озимая пшеница, массовая доля белка, клейковина, натура зерна, стекловидность, масса 1000 зерен

STUDY OF THE PARENT MATERIAL OF SOFT WINTER WHEAT FOR BREEDING FOR GRAIN QUALITY

✉ Kravchenko N.S., Podgorny S.V., Ignatieva N.G., Chernova V.L.

Agricultural Research Center “Donskoy”
Zernograd, Rostov region, Russia
✉ e-mail: ninakravchenko78@mail.ru

The sources of valuable traits for targeted use in the breeding of new winter wheat varieties with improved quality traits are presented. The results of the evaluation of the parent material on the expression of economically valuable features in the collection samples of soft winter wheat are presented. The paper presents data on 31 varieties of different ecological and geographical origin. Field experiments were conducted in 2018–2020 in the breeding rotation under the conditions of the southern zone of the Rostov region. Quality indicators of the varieties: thousand grain weight, protein content, quantity and quality of gluten in the grain, grain unit, total vitreousness, baking properties were determined by standard methods and GOSTs. As a result of the clustering of varieties, it is shown that the breeding program to create adaptive varieties with high grain quality should include as basic parent material the varieties which are included in the 5th and 6th clusters - L-19578 (Russia), Etana (Germany), Warwick (Canada), Akter (Germany), MV-15-09 (Hungary), Simonida (Serbia), GK Hollo (Hungary), Webster (Canada), Wisdom (Canada), No. 42 CIMMYT (USA), and KS 96 WGRC 37 (USA). These varieties showed good results in the southern zone of the Rostov region. The other varieties of the collection nursery are recommended to be included in the breeding work in accordance with the principle of complementarity, as mutually complementary varieties in the expression of a particular trait or property.

Keywords: winter wheat, mass fraction of protein, gluten, grain unit, vitreousness, thousand grain weight

Для цитирования: Кравченко Н.С., Подгорный С.В., Игнатьева Н.Г., Чернова В.Л. Изучение исходного материала озимой мягкой пшеницы для селекции на качество зерна // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 24–32. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-3>

For citation: Kravchenko N.S., Podgorny S.V., Ignatieva N.G., Chernova V.L. Study of the parent material of soft winter wheat for breeding for grain quality // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 24–32. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Озимая мягкая пшеница – культура с высоким биологическим потенциалом продуктивности и качества зерна в условиях южной зоны Ростовской области [1, 2]. Создание новых сортов озимой мягкой пшеницы в значительной мере зависит от правильного подбора исходного материала как начального и очень важного этапа селекционного процесса [3–6]. Для успешной селекционной работы с пшеницей важно выявлять и всесторонне изучать генетические источники и доноры ценных признаков непосредственно в регионах ведения селекции [7, 8].

Цель исследования – выделить источники ценных признаков для целенаправленного использования в селекции новых сортов с улучшенными признаками качества.

Задачи исследований:

- выделить из образцов коллекционного питомника наиболее продуктивные для комплексного изучения качества зерна и муки;
- провести дисперсионный и кластерный анализы экспериментальных данных;
- выделить лучшие сорта, достоверно превышающие стандарт, по изучаемым признакам и свойствам для использования в скрещиваниях при создании новых генотипов с высоким качеством зерна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучение коллекционных сортов проходило в полевых условиях 2018–2020 гг. в лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы интенсивного типа и в лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки Аграрного научного центра «Донской» (АНЦ «Донской»).

Объектом исследований для определения технологических свойств зерна и муки были 31 сорт озимой пшеницы различного эколого-географического происхождения. В качестве стандарта использовали сорт Ермак. Площадь делянки – 3 м², повторность двукратная, предшественник – черный пар. Почва опытного поля – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый мощный.

В 2017/18 сельскохозяйственном году отмечена засуха в период активной вегетации пшеницы (апрель – июнь). Количество осадков за этот период составило 25,9 мм при среднемноголетней норме 165,3 мм. Среднесуточные температуры воздуха превышали среднемноголетние показатели в апреле на 0,8 °С, в мае на 2,7 °С, в июне на 3,4 °С.

Формирование качества в 2018/19 сельскохозяйственном году проходило в условиях недостаточного увлажнения, особенно в июне (10,8 мм, норма – 71,3 мм), и повышенных температур (в мае на 2,5 °С, в июне на 4,7 °С), а также в июне отмечен недобор осадков к среднемноголетней на 100,3; 61,5 и 32,5 мм соответственно.

Период формирования качества зерна в 2019/20 сельскохозяйственном году характеризовался большим количеством осадков в мае (155,7% к норме) и оптимальной температурой (15,4 °С). Он был благоприятен для роста и развития мягкой озимой пшеницы, несмотря на недобор осадков (54,4% к норме) и повышенный температурный режим (на 2,6 °С) в июне.

Основные признаки качества зерна и муки определяли в лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна АНЦ «Донской». Натуру зерна исследовали в соответствии с ГОСТ 10840–2017¹, общую стекловидность зерна – согласно

¹ГОСТ 10840–2017 Зерно. Метод определения натуры. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.

ГОСТ Р 70629–2023². Массовую долю белка в зерне определяли на инфракрасном анализаторе SpektraStar 2200, количество и качество клейковины в зерне – согласно ГОСТ Р 54478–2011³, число падения – в соответствии с ГОСТ 27676–88⁴, пробную лабораторную выпечку проводили ремикс-методом с повторным замесом. Качество хлеба оценивали в соответствии с методическими указаниями госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур⁵. Математическую обработку данных и кластерный анализ производили с применением программы Microsoft Office Excel и Statistica 10. В качестве меры сходства применяли Евклидово расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Масса 1000 зерен является важным элементом продуктивности и значимым селекционным признаком при отборе на урожайность, а также существенно влияет на выраженность натуры зерна и мукомольные свойства. Ученые-селекционеры уделяют внимание данному признаку, так как он позволяет отобрать не только источники крупнозерности, но и сорта, хорошо адаптированные к конкретным почвенно-климатическим условиям, кроме того, данный признак хорошо наследуется [9, 10]. Установлено, что в среднем за годы исследований масса 1000 зерен варьировала от 33,2 г (GK Hollo, Венгрия) до 44,8 г (Eistanzuelo Benteveo, Уругвай), что в соответствии с классификатором СЭВ⁶ характеризует сорта от мелкозерных до крупнозерных. Максимально крупным зерном характеризовались сорта Eistanzuelo Benteveo (Уругвай) (44,8 г), Ling Xing 99 (Китай) (44,7) и Akter (Германия) (44,7 г), показавшие высокие значения данного признака в среднем за 3 года изучения, достоверно превысившие стандарт НСР₀₅ = 1,5 г (см. табл. 1).

Табл. 1. Показатели качества зерна сортов озимой мягкой в пшеницы в коллекционном питомнике, 2018–2020 гг.

Table 1. Grain quality indicators of soft winter wheat varieties in the collection nursery, 2018–2020

Сорт	Происхождение	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Натура, г/л
Ермак, стандарт	Россия	42,8	57	804
Л-19578	»	42,0	57	799
Vinnichanka	Украина	38,5	58	815
Shestopalivka	»	41,0	53	805
Slavna	»	40,3	73	814
Чорнява	»	41,1	73	810
Симонида	Сербия	38,0	66	824
Zlatka	»	37,2	72	835
NS 405/00	»	35,8	54	786
№ 42 CIMMYT	США	37,6	74	809
KS 96 WGRC 37	»	34,8	68	816
Warwick	Канада	37,3	51	817
Webster	»	36,1	55	811
Wisdom	»	33,7	52	807
Zhong Ping 1597	Китай	41,8	57	812
Fuimai 5	»	41,5	55	797
Ling Xing 99	»	44,7	74	809
Akter	Германия	44,7	57	814
Этана	»	36,6	58	786
Cubus	»	35,0	63	785
MV-15-04	Венгрия	39,8	63	823
GK Cipo	»	39,7	63	818
GK Hollo	»	33,2	55	830
№ 71 CIMMYT	Румыния	40,6	56	809
Фиделиус	Австрия	38,6	57	801
Тацитус	»	37,4	62	804
CO 911	Франция	36,7	59	794
Сейлор	»	38,3	74	811
Бомбус	»	35,6	50	759
Дагмар	»	39,9	57	822
Eistanzuelo Benteveo	Уругвай	44,8	55	809
НСР ₀₅	—	1,5	7	13

²ГОСТ Р 70629–2023 Пшеница. Определение стекловидности оптико-компьютерным методом. М.: Стандартинформ, 2023. 5 с.

³ГОСТ Р 54478–2011 Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Стандартинформ, 2012. 23 с.

⁴ГОСТ 27676–88 Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения. М.: Стандартинформ, 2009. 5 с.

⁵Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Под общей редакцией М.А. Федина. М., 1988. 121 с.

⁶Международный классификатор СЭВ рода *Triticum* L. Л., 1984. 86 с.

Выделенные образцы рекомендуем использовать в качестве источников крупнозерности.

В определении качества зерна пшеницы стекловидность – один из важнейших классово-образующих показателей, также характеризующих ее мукомольные свойства. Чем выше стекловидность зерна, тем выше его технологические свойства [11]. Значения общей стекловидности зерна изучаемых сортов изменялись от 50% (Бомбус, Франция) до 74% (Сейлор, Франция), (№ 42 CIMMYT, США) и (Ling Xing 99, Китай). Максимальная выраженность признака (> 70%) отмечена у следующих сортов: Slavna, Чорнява (Украина) (73%), Zlatka (Сербия) (72%), № 42 CIMMYT (США) (74%), Ling Xing 99 (Китай) (74%), Сейлор (Франция) (74%). Выделенные сорта по стекловидности зерна превышали сорт Ермак ($HCP_{05} = 7\%$) и могут использоваться в селекции на улучшение данного признака.

Натура зерна также является показателем крупности и выполненности зерна. Выраженность значений натуры изучаемых сортов установлена от 759 г/л (Бомбус, Франция) до 835 г/л (Zlatka, Сербия). В среднем за годы исследований все изучаемые сорта характеризовались высокими значениями натуры и соответствовали 1-му классу качества согласно ГОСТу на пшеницу. Максимальные значения, достоверно превысившие стандарт ($HCP_{05} = 13$ г/л) по данному признаку, отмечены у сортов, г/л: Warwick (Канада) (817), GK Cipo (Венгрия) (818), Дагмар (Франция) (822), MV-15-04 (Венгрия) (823), Симонида (Сербия) (824), GK Hollo (Венгрия) (830) и Zlatka (Сербия) (835). Эти сорта рекомендуем использовать в качестве источников для улучшения признака «натурная масса».

Проблема содержания белка в зерне пшеницы как селекционного признака осложнена отрицательной взаимосвязью с урожаем зерна, что делает трудным селекцию по двум этим признакам одновременно. Содержание белка в зерне существенно влияет на хлебопекарные свойства, биологическую ценность зерна и продуктов переработки [12, 13]. Мас-совая доля белка в зерне в среднем за годы исследований варьировала от 12,66% (Бомбус, Франция) до 15,05% (Л-19578, Россия) (см. табл. 2).

Табл. 2. Качество клейковинно-белкового комплекса и хлебопекарные свойства муки из сортов озимой мягкой пшеницы в коллекционном питомнике, 2018–2020 гг.

Table 2. The quality of the gluten-protein complex and the baking properties of flour from soft winter wheat varieties in the collection nursery, 2018-2020

Сорт	Мас- совая доля белка, %	Коли- чество клей- кови- ны, %	Каче- ство клей- кови- ны, ед. прибора ИДК	ОХ, мл	ОХО, балл
Ермак, стандарт	13,88	24,7	71	600	3,8
Л-19578	15,05	31,6	76	670	4,1
Vinnichanka	13,76	26,6	84	593	3,6
Shestopalivka	13,71	26,5	81	610	3,7
Slavna	13,75	24,2	81	613	3,7
Чорнява	13,43	24,4	81	583	3,5
Симонида	13,57	29,1	86	687	4,4
Zlatka	14,08	26,7	84	607	3,8
NS 405/00	13,46	22,5	69	563	3,3
№ 42 CIMMYT	14,15	30,8	90	693	4,2
KS 96 WGRC 37	14,01	30,0	85	693	4,3
Warwick	13,28	25,6	88	657	4,1
Webster	13,09	22,9	87	690	4,2
Wisdom	13,24	23,9	84	673	4,1
Zhong Ping 1597	14,48	30,9	105	600	3,4
Fuimai 5	12,69	22,8	79	593	3,5
Ling Xing 99	13,93	28,6	99	620	3,7
Akter	14,28	27,6	87	643	4,1
Этана	14,16	25,1	89	670	4,1
Cubus	13,61	24,4	84	563	3,1
MV-15-04	13,64	25,5	84	647	3,8
GK Cipo	13,54	27,8	81	630	3,8
GK Hollo	13,60	30,4	87	683	4,1
№ 71 CIMMIT	13,91	25,7	81	610	3,6
Фиделиус	13,29	23,4	68	590	3,6
Тацитус	13,76	25,2	73	530	3,0
CO 911	13,54	24,1	84	617	3,8
Сейлор	14,24	27,9	82	587	3,4
Бомбус	12,66	25,1	79	637	3,9
Eistanzuelo	13,22	25,3	87	610	3,4
Benteveo	13,30	24,5	75	613	3,6
Дагмар	13,30	24,5	75	613	3,6
HCP_{05}	0,52	1,1	5	25	0,1

Примечание. ОХ – объемный выход хлеба, мл; ОХО – общая хлебопекарная оценка, балл.

Согласно ГОСТ 9353–2016⁷ к сильным пшеницам относятся сорта с содержанием белка не ниже 14%. По данному признаку достоверно ($HCP_{05} = 0,52\%$) выделились следующие образцы, %: Л-19578 (Россия) (15,15), Zhong Ping 1597 (Китай) (14,48), Akter (Германия) (14,28), Этана (Германия) (14,16), Сейлор (Франция) (14,24), № 42 CIMMYT (США) (14,15), KS 96 WGRC 37 (США) (14,01) и Zlatka (Сербия) (14,08). Выделенные образцы могут использоваться в качестве родительских форм для скрещиваний.

Максимальным содержанием клейковины в зерне на уровне требований, предъявляемых ко 2-му классу качества (не менее 28,0%), характеризовались 7 сортов. Самыми высокими значениями данного признака ($> 30\%$) характеризовались следующие сорта, %: Л-19578 (Россия) (31,6), № 42 CIMMYT (США) (30,8), Zhong Ping 1597 (Китай) (30,9) и GK Hollo (Венгрия) (30,4). Данные сорта достоверно превышали стандарт ($HCP_{05} = 1,1\%$). Выделенные коллекционные образцы рекомендуются использовать в качестве источников для улучшения признака «количество клейковины в зерне».

Индекс деформации клейковины (ИДК) характеризует физические и реологические свойства клейковины (упругость, растяжимость). У изучаемых сортов в коллекционном питомнике значения ИДК изменялись в широких пределах – от 68 единиц (ед.) прибора (Фиделиус, Австрия) до 105 ед. прибора (Zhong Ping 1597, Китай). Это соответствовало 1–3-й группам качества. Для получения качественных хлебных изделий оптимальным качеством клейковины в зерне для хлебопечения является 70–90 ед. ИДК, т.е. удовлетворительны верхний диапазон 1-й группы и нижний диапазон 2-й группы [14, 15].

Проведение пробной лабораторной выпечки является завершающим этапом в определении хлебопекарных свойств сортов озимой мягкой пшеницы. Согласно проведенным исследованиям выделены сорта, которые наиболее полно реализовали хлебопекарные свойства и характеризовались максимальным объемным выходом хлеба и общей оценкой

хлеба, мл, балл: Л-19578 (Россия) (670, 4,1), Симонида (Сербия) (687, 4,4), № 42 CIMMYT (США) (693, 4,2), KS 96 WGRC 37 (США) (693, 4,3), Webster (Канада) (690, 4,2), Wisdom (Канада) (673, 4,1), Этана (Германия) (670, 4,1), GK Hollo (Венгрия) (683, 4,1). Выделенные образцы рекомендуется использовать в качестве родительских форм для создания сортов хлебопекарного назначения.

Для выявления генотипов, обладающих совокупностью хозяйственно ценных признаков, влияющих на хлебопекарные свойства, с последующим включением их в гибридизацию провели кластерный анализ коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы по урожайности, натуре зерна, стекловидности, массе 1000 зерен, содержанию белка, количеству и качеству клейковины, объемному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке.

В результате проведенного анализа выборки построена дендрограмма с распределением образцов на 7 кластеров (см. рисунок, табл. 3).

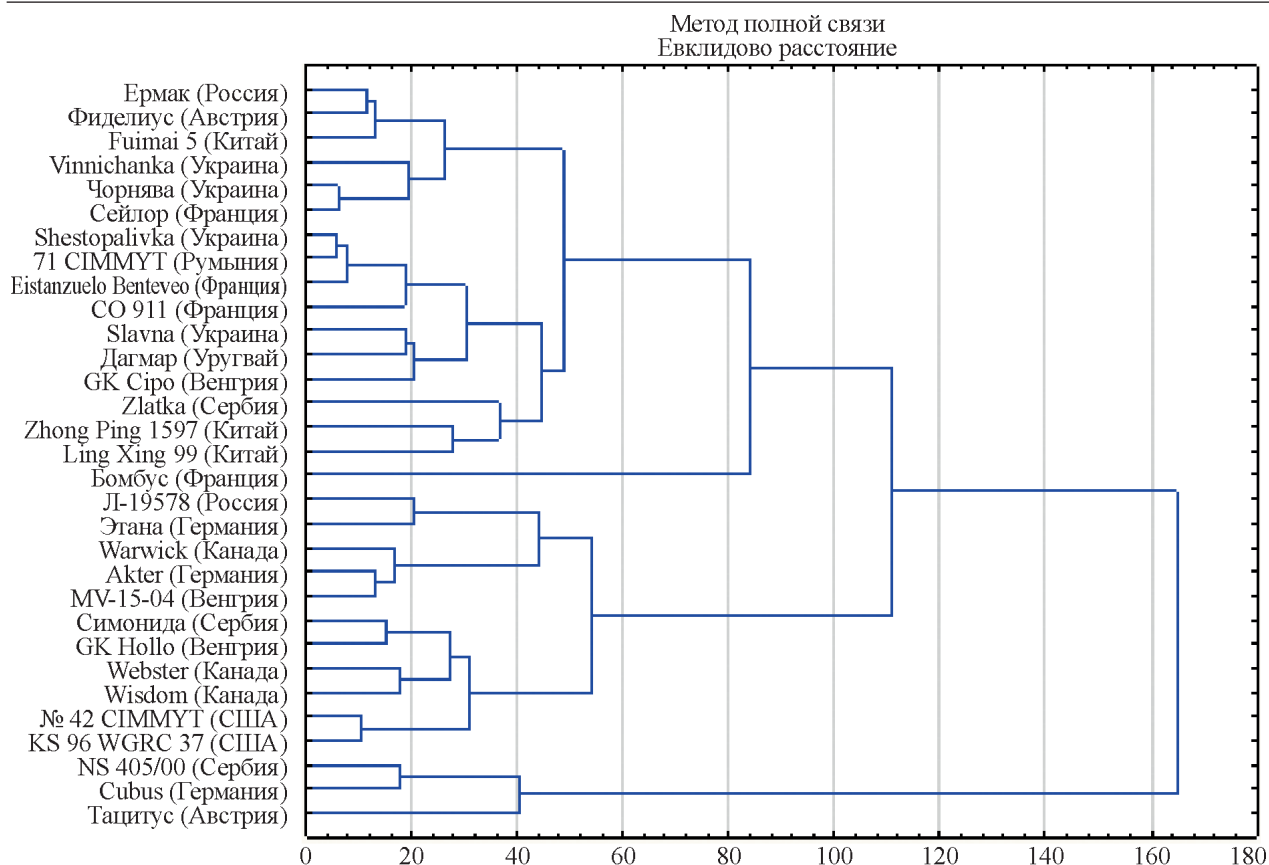
В первый кластер вошли 6 сортов, которые характеризовались крупным зерном (44,0 г), высокой натурой зерна (808 г/л), ИДК 78 ед. прибора (1-я группа), но хлебопекарные свойства отмечены на уровне ценной пшеницы (см. табл. 3).

Второй кластер представлен 7 образцами, которые характеризовались крупным зерном (масса 1000 зерен 44,5 г), высокой натурой (810 г/л), высоким содержанием клейковины (25,4%). Индекс деформации клейковины у этой группы сортов составил 82 ед. прибора (2-я группа), что повлияло на увеличение объемного выхода хлеба (615 мл) (см. табл. 4).

Третий кластер представлен 3 сортами, которые сформировали максимальные значения массы 1000 зерен (45,7 г), натурой зерна (818 г/л), количество белка (14,16%) и клейковины в зерне (28,7%). Эти образцы можно использовать для гибридизации в качестве источников для улучшения клейковинно-белкового комплекса.

Четвертый кластер представлен одним сортом Бомбус (Франция), у которого отмечена высокая урожайность (12,2 т/га), но низкое содержание белка (12,66%) и следующие зна-

⁷ГОСТ 9353–2016 Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.



Распределение сортов озимой мягкой пшеницы на кластеры по урожайности и комплексу признаков, характеризующих качество, 2018–2020 гг.

Distribution of soft winter wheat varieties into clusters according to productivity and a set of traits which characterize quality, 2018-2020

чения физических признаков качества: натура зерна 759 г/л, стекловидность 57%, масса 1000 зерен 38,2 г.

В пятый кластер вошли 5 сортов с массой 1000 зерен (44,3 г), высокой натурой (808 г/л), максимальным содержанием белка (14,08%), с высоким содержанием клейковины в зерне

(27,1%) и хорошими хлебопекарными свойствами (объемным выходом хлеба 657 мл и общей оценкой хлеба 4,0 балла).

В шестой кластер вошли 6 сортов, у которых выраженность всех изучаемых признаков и свойств была наилучшей, что повлияло на качество хлеба.

Табл. 3. Распределение сортов коллекции по кластерам

Table 3. Distribution of soft winter wheat varieties according to clusters

Кластер	Сорт
1-й	Ермак (Россия), Фиделиус (Австрия), Fuimai 5 (Китай), Vinnichanka (Украина), Чорнява (Украина), Сейлор (Франция),
2-й	Shestopalivka (Украина), 71 CIMMYT (Румыния), Eistanzuelo Benteveo (Франция), CO 911 (Франция), Slavna (Украина), Дагмар (Уругвай), GK Cipo (Венгрия)
3-й	Zlatka (Сербия), Zhong Ping 1597 (Китай), Ling Xing 99 (Китай)
4-й	Бомбус (Франция)
5-й	Л-19578 (Россия), Этана (Германия), Warwick (Канада), Akter (Германия), MV-15-04 (Венгрия)
6-й	Симоида (Сербия), GK Hollo (Венгрия), Webster (Канада), Wisdom (Канада), № 42 CIMMYT (США), KS 96 WGRС 37 (США)
7-й	NS 405/00 (Сербия), Cubus (Германия), Тацитус (Австрия)

Табл. 4. Характеристика кластеров по урожайности и качеству зерна
Table 4. Characteristics of clusters according to productivity and grain quality

Признак	Кластер						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Натурная масса, г/л	806	810	818	759	808	816	792
Стекловидность, %	62	59	68	50	57	62	60
Масса 1000 зерен, г	44,0	44,5	45,7	38,2	44,3	37,5	38,8
Массовая доля белка, %	13,55	13,57	14,16	12,66	14,08	13,61	13,61
Количество клейковины, %	25,0	25,4	28,7	25,1	27,1	27,8	24,0
Индекс деформации клейковины, ед. прибора	78	82	96	79	85	86	75
Объемный выход хлеба, мл	591	615	609	637	657	687	552
Общая хлебопекарная оценка, балл	3,6	3,6	3,6	3,9	4,0	4,2	3,2
Урожайность, т/га	11,2	11,5	10,1	12,2	11,5	11,1	11,5

Седьмой кластер представлен 3 сортами, у которых отмечено низкое содержание клейковины (24,0%), значение индекса деформации клейковины составило 75 ед. прибора, что сказалось на низком объеме хлеба (552 мл) и общей оценке 3,2 балла.

Сорта коллекционного питомника, вошедшие в 5-й и 6-й кластеры, представляют наибольший интерес для создания сортов хлебопекарного назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При создании сортов озимой мягкой пшеницы, адаптированных к погоднo-климатическим условиям южной зоны Ростовской области, важным этапом является наиболее полное изучение источников полезных признаков и свойств для использования в качестве исходного материала. В результате проведенных исследований кластеризации сортов следует полагать, что селекционная программа по созданию адаптивных сортов с высоким качеством зерна должна включать в качестве базового исходного материала сорта, входящие в 5-й и 6-й кластеры. Это – Л-19578 (Россия), Этана (Германия), Warwick (Канада), Akter (Германия), MV-15-09 (Венгрия), Симонида (Сербия), GK Hollo (Венгрия), Webster (Канада), Wisdom (Канада), № 42 CIMMYT (США) и KS 96 WGRC 37 (США). Данные сорта показали наиболее

высокие результаты в условиях южной зоны Ростовской области. Другие сорта коллекционного питомника рекомендуем включать в селекционную работу в соответствии с принципом комплементарности, как дополняющие базовые сорта по выраженности того или иного признака или свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов А.С., Овсянникова Г.В., Сухарев А.А. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность зерна мягкой озимой пшеницы по различным предшественникам в южной зоне Ростовской области // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 6 (78). С. 83–87. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-83-87.
2. Самофалова Н.Е., Дубинина О.А., Самофалов А.П., Иличкина Н.П. Роль метеофакторов в формировании продуктивности озимой твердой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 5 (65). С. 18–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23.
3. Фадеева И.Д., Игнатъева И.Ю., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях севера Среднего Поволжья // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. № 183 (1). С. 118–126. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126.
4. Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Krakhmal'yova M.S., Bugrova V.V. Scientific breeding of winter bread wheat in the Non-Chernozem zone

- of Russia: the history, methods and results // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021. N 25 (4). P. 367–373. DOI: 10.18699/VJ21.53-о.
5. Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю. Адаптивный потенциал исходного материала в селекции мягкой яровой пшеницы // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 26–31. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-32-37.
6. Базилова Д., Долинный Ю., Иванова Г. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана // *Izdenister Natigeler*. 2022. N 2 (94). P. 37–46. DOI: 10.37884/2-2022/05.
7. Дёмина Е.А., Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Муллаянова О.С., Чекмасова К.Ю. Источники ценных признаков для селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (60). С. 21–26. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-21-26.
8. Tadesse W., Amri A., Ogbonnaya F.C., Sanchez-Garcia M., Sohail Q, Baum M. Wheat: in Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement. Oxford: Academic Press, 2016. P. 81–124. DOI: 10.1016/B978-0-12-802000-5.00002-2.
9. Балча А. Генотип по взаимодействию с окружающей средой для урожайности зерна и связи между параметрами стабильности в мягкой пшенице (*Triticum aestivum* L.) // *Американский журнал наук о растениях*. 2020. Т. 11. № 1. С. 1–10. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
10. Donga A.R., Prajapati K.N., Patel J.M., Gajjar K.D. Genetic studies of durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes for yield and its attributing traits under restricted irrigation condition // *Pharma Innovation*. 2022. N 11 (8). P. 636–640. DOI: 10.22271/tpi.2022.v11.i8h.14786.
11. Герасина А.Ю., Казаджан М.Д., Антонов Р.Ю. Стандартизация нового метода определения стекловидности зерна пшеницы с применением оптико-компьютерной диагностики и сравнительный анализ существующих методов // *Пищевые системы*. 2021. № 4 (3S). С. 42–45. DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-42-45.
12. Соколенко Н.И., Комаров Н.М., Галушко Н.А. Источники высокого качества зерна в селекции мягкой озимой пшеницы и тритикале // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 11. С. 33–36. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11108.
13. Давидянц Э.С., Ерошенко Ф.В. Состояние, тенденции и пути оптимизации производства качественного зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. № 6. С. 21–26.
14. Мелешкина Е.П. Современные аспекты качества зерна пшеницы // *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009. № 3 (3). С. 4–7.
15. Кравченко Н.С., Конусь М.М., Игнатъева Н.Г., Олдырева И.М., Подгорный С.В. Изучение селекционного материала озимой мягкой пшеницы по основным критериям качества // *Зерновое хозяйство России*. 2022. Т. 14. № 4. С. 39–45. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-39-45.

REFERENCES

1. Popov A.S., Ovsyannikova G.V., Sukharev A.A. The effect of moisture supply conditions on productivity of winter bread wheat, sown after various forecrops in the southern part of the Rostov region. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2021, no. 6 (78), pp. 83–87. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-83-87.
2. Samofalova N.E., Dubinina O.A., Samofalov A.P., Ilichkina N.P. The meteorological factors' part in winter durum wheat productivity formation. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2019, no. 5 (65), pp. 18–23. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23.
3. Fadeeva I.D., Ignatieva I.Yu., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Source material for breeding winter bread wheat for grain quality in the north of the Middle Volga region. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2022, no. 183 (1). pp. 118–126. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126.
4. Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Krakhmal'yova M.S., Bugrova V.V. Scientific breeding of winter bread wheat in the Non-Chernozem zone of Russia: the history, methods and results. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2021. no. 25 (4). pp. 367–373. DOI: 10.18699/VJ21.53-о.
5. Mal'tseva L.T., Filippova E.A., Bannikova N.Yu. Adaptive potential of the initial material in the selection of soft spring wheat. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University*, 2020, vol. 15, no. 1 (57). pp. 26–31.

- (In Russian). DOI: 10.12737/2073-0462-2020-32-37.
6. Bazilova D., Dolinnyi Yu., Ivanova G. Initial material for breeding of spring soft wheat in the conditions of Northern Kazakhstan. *Izdenister Natigeler*, 2022, no. 2 (94), pp. 37–46. (In Russian). DOI: 10.37884/2-2022/05.
 7. Demina E.A., Kincharov A.I., Taranova T.Yu., Mullayanova O.S., Chekmasova K.Yu. Sources of valuable traits for breeding spring soft wheat in the middle Volga region. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University*, 2020, no. 4 (60), pp. 21–26. (In Russian). DOI: 10.12737/2073-0462-2021-21-26.
 8. Tadesse W., Amri A., Ogbonnaya F.C., Sanchez-Garcia M., Sohail Q., Baum M. *Wheat: in Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement*. Oxford, Academic Press, 2016, pp. 81–124. DOI: 10.1016/B978-0-12-802000-5.00002-2.
 9. Balcha A. Genotype by Environment Interaction for Grain Yield and Association among Stability Parameters in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Amerikanskii zhurnal nauk o rasstenyakh = American Journal of Plant Sciences*, 2020, vol. 11, no. 1, pp. 1–10. (In Russian). DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
 10. Donga A.R., Prajapati K.N., Patel J.M., Gajjar K.D. Genetic studies of durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes for yield and its attributing traits under restricted irrigation condition. *Pharma Innovation*, 2022, no. 11 (8), pp. 636–640. DOI: 10.22271/tpi.2022.v11.i8h.14786.
 11. Gerasina A.Yu., Kazadzhan M.D., Antonov R.Yu. Standardization of a new method for determining the glass content of wheat grain with the use of optical-computer diagnostics and analysis of existing methods. *Pishchevye sistemy = Food Systems*, 2021, no. 4 (3S), pp. 42–45. (In Russian). DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-42-45.
 12. Sokolenko N.I., Komarov N.M., Galushko N.A. Sources of high grain quality in breeding of soft winter wheat and triticale. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 11, pp. 33–36. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11108.
 13. Davidyants E.S., Eroshenko F.V. Current state, trends and ways for production optimization of high-quality grain of winter wheat in Stavropol Krai. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2017, no. 6, pp. 21–26. (In Russian).
 14. Meleshkina E.P. Modern aspects of wheat grain quality. *Agrarnyy vestnik Yugo-Vostoka = Agrarian Reporter of South-East*, 2009, no. 3 (3), pp. 4–7. (In Russian).
 15. Kravchenko N.S., Kopus M.M., Ignatieva N.G., Oldyreva I.M., Podgorny S.V. The study of breeding material of winter bread wheat according to the main criteria of quality. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 39–45. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-39-45.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Кравченко Н.С.**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок 3; e-mail: ninakravchenko78@mail.ru

Подгорный С.В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Игнатьева Н.Г., техник-исследователь

Чернова В.Л., агроном

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nina S. Kravchenko**, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher; **address:** 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: ninakravchenko78@mail.ru

Sergey V. Podgorny, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher

Nataliya G. Ignatieva, Research Technician

Valentina L. Chernova, Agronomist

Дата поступления статьи / Received by the editors 03.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 01.06.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023

АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ МЕТОДОМ МНОГОМЕРНОЙ РЕГРЕССИИ В ПРИСУТСТВИИ Mg^{2+} МИЦЕЛИЯ ГРИБА ВЕШЕНКА

(✉)Ловцова Л.Г.¹, Забелина М.В.¹, Майоров А.В.¹, Усков К.Ю.¹, Тюрин И.Ю.¹, Мавзовин В.С.²

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н.И. Вавилова

Саратов, Россия

²Московский государственный строительный университет

Москва, Россия

(✉)e-mail: larisalovtsova2018@mail.ru

Проведены исследования по оптимизации процесса глубинного культивирования мицелия гриба вешенка. Усовершенствован процесс получения мицелия как посевного материала для выращивания плодовых тел грибов. Изучено влияние различных концентраций карбоната магния (Magnesium carbonates) на ростовые характеристики мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* при глубинном культивировании. Выявлена зависимость активности ферментов от концентрации металла в питательной среде прорастания мицелия вешенки. Адаптирована методика определения активности каталазы спектрофотометрическим методом для изучаемых объектов. Впервые получены данные активности ферментов каталазы и супероксиддисмутазы мицелия в присутствии добавки карбоната магния. Установлено, что применение карбоната магния в малых концентрациях положительно влияет на рост биомассы мицелия гриба *Pleurotus ostreatus*, поскольку с увеличением концентрации Mg^{2+} отмечено уменьшение скорости роста биомассы и активности каталазы, предположительно, за счет участия магния в создании определенной ионной концентрации, при которой начинается инактивация каталазы. Изучена возможность применения метода многомерной регрессии в виде метода главных компонент (МГК). Проведен анализ редокс-состояния культуры *Pleurotus ostreatus* на уровне ферментных компонентов системы антиоксидантной защиты при погруженном культивировании базидомицетов, который показал, как взаимосвязаны между собой полученные переменные с разными единицами измерений. Графики счетов также наглядно указывают на зависимость роста мицелия от концентрации применяемой добавки. Введение предложенных в работе условий культивирования в практику грибоводства потенциально способствует более успешному противостоянию макромицетов биотическому и абиотическому стрессу. Результаты исследований актуальны для развития фундаментальных основ науки о грибах.

Ключевые слова: мицелий, каталаза, супероксиддисмутаза, активность ферментов, ионы, магний, гриб вешенка

ANALYSIS OF THE ACTIVITY OF OXIDATIVE ENZYMES BY MULTIVARIATE REGRESSION IN THE PRESENCE OF Mg^{2+} OYSTER MUSHROOM MYCELIUM

(✉)Lovtsova L.G.¹, Zabelina M.V.¹, Mayorov A.V.¹, Uskov K.Yu.¹, Tyurin I.Yu.¹, Mavzovin V.S.²

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov
Saratov, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering

Moscow, Russia

(✉)e-mail: lauisalovtsova2018@mail.ru

Studies have been conducted to optimize the process of deep cultivation of the Oyster mushroom mycelium. The process of obtaining mycelium as a seed for cultivation of fruiting bodies of mushrooms has been improved. The effect of different concentrations of magnesium carbonate (Magnesium carbonates) on the growth characteristics of mycelium of the fungus *Pleurotus ostreatus* during deep cultivation has been studied. The dependence of enzyme activity on the concentration of metal in the nutrient medium of germinating mycelium of oyster mushrooms has been revealed. The method for determining the activity of catalase by spectrophotometric method has been adapted for the studied objects. For the first time the data on the activity of mycelium catalase and superoxide dismutase

enzymes in the presence of magnesium carbonate additive have been obtained. It has been found that the application of magnesium carbonate in low concentrations has a positive effect on the growth of mycelial biomass of the fungus *Pleurotus ostreatus*, since with increasing concentration (Mg^{2+}) a decrease in biomass growth rate and catalase activity has been observed, presumably due to the participation of magnesium in creating a certain ionic concentration at which catalase inactivation begins. The possibility of applying the method of multivariate regression in the form of the principal components analysis (PCA) has been studied. The redox state of *Pleurotus ostreatus* culture at the level of enzyme components of the antioxidant defense system during submerged cultivation of basidiomycetes has been analyzed, which showed how the obtained variables with different measurement units are interconnected. The account graphs also clearly indicate the dependence of mycelial growth on the concentration of the additive used. The introduction of the cultivation conditions proposed in this work in the practice of mushroom production potentially contributes to a more successful resistance of macromycetes to biotic and abiotic stress. The results of the research are relevant to the development of the fundamentals of the science of fungi.

Keywords: mycelium, catalase, superoxide dismutase, enzyme activity, ions, magnesium, oyster mushroom

Для цитирования: Ловцова Л.Г., Забелина М.В., Майоров А.В., Усков К.Ю., Тюрин И.Ю., Мавзовин В.С. Анализ активности окислительных ферментов методом многомерной регрессии в присутствии Mg^{2+} мицелия гриба вешенка // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 33–42. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-4>

For citation: Lovtsova L.G., Zabelina M.V., Mayorov A.V., Uskov K.Yu., Tyurin I.Yu., Mavzovin V.S. Analysis of the activity of oxidative enzymes by multivariate regression in the presence of Mg^{2+} oyster mushroom mycelium. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 33–42. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о возможности искусственного выращивания съедобных и лекарственных грибов уже свыше двух тысячелетий занимает человечество. Объектом научных исследований во всем мире являются более 100 тыс. видов. Общеизвестно функциональное значение грибов в различных биогеоценозах, где они благодаря широкому набору ферментов принимают активное участие в процессах деструкции и минерализации органического вещества [1]. Хотя грибы являются очень интересной в теоретическом и практическом плане группой живых организмов, в настоящее время они остаются относительно малоизученными. Продуцируемые макромицетами биологически активные вещества, такие как полисахариды, гликопротеины, терпены, стеролы, каротиноидные пигменты, могут проявлять антибактериальные, противовирусные, противоопухолевые, антипаразитарные и иммуномодулирующие свойства.

Значительные исследования физиологии высших грибов начались в 1980–2020-е годы. Происходящие при росте и развитии грибного организма сложные физиологические и биохимические процессы, их интенсивность, определяющиеся наследственными и потенциальными качествами самого организма и факторами внешней среды, требуют дальнейшего изучения [2]. Исследования роста базидиомицетов на жидких средах направлены на изучение питательных потребностей и физиологии вида в чистой культуре, разработку технологии погруженного культивирования мицелия с целью получения биомассы кормового и пищевого назначения. Глубинное культивирование также предлагается как быстрый и эффективный метод производства посевного материала для грибоводства. Значительно меньшее число работ посвящено биохимии глубинного культивирования, ее связи с физиологией роста и развития грибного организма в глубинной культу-

ре. В частности, антимикробная активность высших грибов изучена явно недостаточно, лишь единичные работы касаются изучения этой активности в связи с физиологическими аспектами, проблемами морфогенеза грибов [3–15]. Активно развиваются исследования, направленные на создание условий выращивания базидиомицетов, для достижения максимального выхода биомассы, сокращения сроков культивирования, уменьшения посевного материала и др. Анализ изменения ферментативной активности базидиомицетов в процессе варьирования условий их культивирования является одним из основных эффективных показателей конкурентоспособности роста биомассы мицелия [16].

В мире высших растений ферменты действуют как антиоксиданты, они защищают клеточные компоненты от окисления активными формами кислорода (АФК). В первую очередь к ним относят фермент супероксиддисмутазу (СОД), каталазу и глутатионпероксидазу. Супероксид является одним из наиболее распространенных АФК, вырабатываемых митохондриями, в то время как СОД превращает супероксидные анионы в перекись водорода, следовательно, является центральным регулятором уровня АФК. Фермент каталаза является геминным ферментом. Биологическая роль каталазы заключается в катализировании реакции разрушения перекиси водорода. В условиях *in vivo* (в клетке) большинство ферментов организовано в пространстве в так называемые «мультиферментные системы». Они или связаны с клеточными структурами, или находятся в свободном состоянии в различных органеллах клетки.

Практика внесения питательных добавок для выращивания грибов во время нереста или обсадки для максимизации урожайности появилась в 1960-х годах [17] и получила широкое признание и распространение, однако ее использование может быть ограничено в некоторых секторах из-за технических и экономических факторов. Добавки, как питательная субстанция, представляют обезжиренную растительную муку, полученную из соевого шрота, а также зерновые отруби,

которые являются органическим источником белка, обогащенного минералами или витаминами, часто используемые для выращивания грибов видов *Agaricus* и *Pleurotus*.

На рост и развитие высших грибов в незначительных количествах благоприятное воздействие оказывают микроэлементы. Отсутствие микроэлементов вызывает различные нарушения в развитии организма. При определенных концентрациях цинка, железа, марганца, меди, кальция и некоторых других микроэлементов наблюдается стимуляция образования и роста мицелия. Для питания, т.е. для основного обмена грибов, необходимо приблизительно 17–18 элементов, в число которых входят азот, углерод, кислород, водород, сера, фосфор, калий, магний, железо, медь, цинк, марганец, молибден, кальций. В большом количестве грибам требуются следующие основные элементы: азот, углерод, кислород, водород, фосфор, калий, сера и магний. Поэтому в питательные среды, где достаточно микроэлементов, добавляют, кроме источников азота и углерода, калий и магний. Магний играет большую роль в углеводном обмене и всех синтезах на основе использования энергии фосфорных связей. Около 50 ферментативных реакций у грибов идут с участием магния.

Цель исследований – анализ редокс-состояния мицелия культуры *Pleurotus ostreatus* на уровне ферментных компонентов системы антиоксидантной защиты при культивировании с различными концентрациями карбоната магния $MgCO_3$ методом многомерной регрессии. Определение активности каталазы и супероксиддисмутазы в экстрактах из мицелиальной биомассы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выбранный для исследований *Pleurotus ostreatus* штамм НК-35 из коллекции агрохимической лаборатории УНПК «Агроцентра» Вавиловского университета. Данный штамм обладает следующими особенностями: при созревании волны примерно одинаково плодоносят – 10–12% – первая, 7–10 – вторая, 5–7% – третья. Оптимальные параметры выращивания – температура 16–17 °С; влаж-

ность в момент завязывания примордий составляет 90%, после массового завязывания снижается до 88%, во время плодоношения поддерживается на уровне 85–87%; уровень углекислого газа не должен превышать 850 ppm.

Карбонат магния используется в качестве пищевой добавки Е 504. В России добавка Е 504 разрешена для изготовления продуктов из какао и шоколада, сыров и других продуктов согласно техническим требованиям производства. Магний представляет собой элемент, необходимый для процессов окисления, который не образует стойких органических соединений в мицелии грибов.

В России наибольший удельный вес в ассортименте магниевых удобрений приходится на известково-магниевые и калийно-магниевые удобрения, использование органических удобрений, в химическом составе которых имеется магний в пределах 0,01–0,09% (ГОСТ Р 58658–2019 Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными экологическими характеристиками) (см. табл. 1).

Культивирование проводили периодическим глубинным способом при температуре $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ от 6 до 14 сут при непрерывном перемешивании (частота вращения 200 об./мин) в темноте на шейкере-инкубаторе в колбах вместимостью 750–1000 мл. Культивирование осуществлялось на жидких

питательных средах, содержащих различные концентрации карбоната магния, в 2%-м растворе муки первого сорта. Питательные среды автоклавировали при 1,2 атм в течение 0,5 ч.

Общую активность супероксиддисмутазы определяли по способности фермента ингибировать фотохимическое восстановление нитросинеготетразолия (NBT), согласно Гианнополитису и Райсу¹ с некоторыми модификациями, как описано О.Г. Полесской с соавторами². Количество растворимого белка в супернатанте определяли методом Бредфорда. Активность супероксиддисмутазы выражали в условных единицах на миллиграмм белка. Активность каталазы в жидких пробах измеряли по снижению концентрации H_2O_2 при контакте с белковыми экстрактами из мицелия. Активность каталазы определяли спектрофотометрическим методом при длине волны 240 нм. Количество растворимого белка в супернатанте определяли методом Бредфорд³. Активность каталазы выражали в единицах $\text{mM} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{мг}^{-1}$ белка. Анализ кинетических кривых активности каталазы проводили при помощи программы UVWin5. Определение ростовых характеристик (скорость роста) при глубинном культивировании определяли в соответствии с рекомендациями⁴ по накоплению сухой биомассы в единицу времени в зависимости от продолжительности выращивания.

Опыты по измерению биомассы проводили в 5–10 повторностях, все остальные – в 3 повторностях. Для количественной обработки данных использовали метод главных компонент РСА, где особое внимание уделяется графикам счетов. На графике счетов каждый образец изображается в координатах (t_1, t_2) , обозначаемых ГК1 и ГК2. Важным свойством РСА является ортогональность (независимость) главных компонент. Близость двух точек обозначает их схожесть, то есть

Табл. 1. Дизайн эксперимента

Table 1. Experiment design

№ п/п	Группа	Исходная концентрация $MgCO_3$ в питательной среде, моль/л	Цвет обозначения
1	Контроль	–	Зеленый©
2	1-я	$1 \cdot 10^{-6}$	Сиреневый©
3	2-я	$1 \cdot 10^{-5}$	Красный©
4	3-я	$1 \cdot 10^{-4}$	Желтый©
5	4-я	$1 \cdot 10^{-3}$	Синий©

¹Giannopolitis C. N., Ries S.K. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants // Plant Physiology. 1977. T. 59. P. 309–314.

²Polesskaya, O.G., Kashirina, E.I., Alekhina, N.D. Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat leaves and roots depending on the form and dose of nitrogen in the medium // Plant Physiology. 2004. N 5. P. 686–691.

³Bradford GPM.1.2.3.0012.15. Determination of protein, GENERAL PHARMACOPOLYMER MORNING, Instead of Art. GF XII, part 1.

⁴Dudka I.A., Vasser S.P., Ellanskaya I.A. and others. Methods of experimental mycology: a Handbook // Pod. ed. IN AND. Bilay. Kyiv: Naukova Dumka, 1982. 549 p.

положительную корреляцию. Зависимость среднего значения какой-либо величины от некоторой другой величины или от нескольких других величин. В отличие от чисто функциональной зависимости $y = f(x)$, когда каждому значению независимой переменной x соответствует одно определенное значение зависимой переменной y , при регрессионной связи одному и тому же значению независимой переменной (фактору) x могут соответствовать в зависимости от конкретного случая различные значения зависимой переменной (отклика) y . Если при каждом значении $x = x_i$ наблюдается n_i значений $y_{ij}; j = 1, n_i$, то зависимость средних арифметических

значений: $y_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}$ от x_i и является регрессией в статистическом понимании этого термина^{5, 6}.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения возможности применения метода главных компонент при обработке данных по активности ферментов каталазы и супероксиддисмутазы проведены экспериментальные исследования культивирования мицелия в средах, содержащих различные концентрации карбоната магния, указанные в табл. 1, в 2%-м растворе муки первого сорта. Питательные среды автоклавировали при 1,2 атм в течение 0,5 ч.

На рис. 1 приведены графики счетов по данным активности каталазы с несколькими переменными, включающими массу (m) белка в мг, Σ (сумма массы белка в образце); активность каталазы на миллиграмм белка (cat/мг белка); активность каталазы на микрограмм белка (cat/мкг белка); погрешность, для активности на 1 мг белка; погрешность, для активности на 1 мкг белка; $\Delta D/\min$ – погрешности измерения веса). Данные, полученные спектрофотометрическим методом при длине волны 240 нм на активность каталазы, для V пробы – 2 мл; ε – коэффициент молярной экстинкции H_2O_2 – 0,039 моль⁻¹; l – длина оптического пути – 1 см; t – 1 мин.

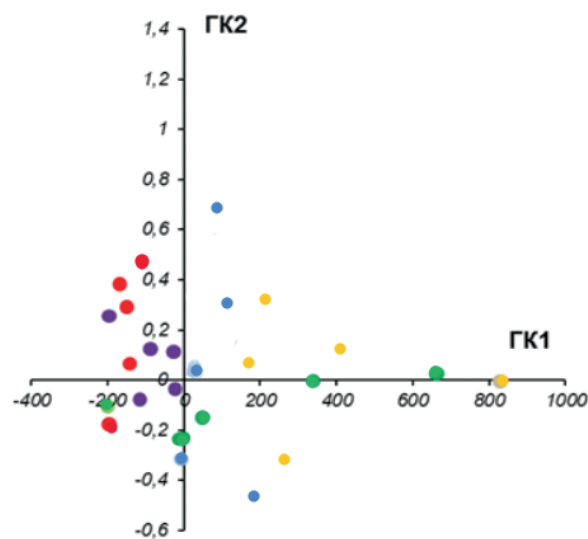


Рис. 1. Графики счетов (ГК1 и ГК2) по активности каталазы $mM \cdot \min^{-1} \cdot mg^{-1}$ белка (контроль – зеленый©; $1 \cdot 10^{-6}$ – сиреневый©; $1 \cdot 10^{-5}$ – красный©; $1 \cdot 10^{-4}$ – желтый©; $1 \cdot 10^{-3}$ – синий©)

Fig. 1. Graphs of scores (GS1 and GS2) for catalase activity $mM \cdot \min^{-1} \cdot mg^{-1}$ of the protein (control-green©; $1 \cdot 10^{-6}$ – lilac©; $1 \cdot 10^{-5}$ – red©; $1 \cdot 10^{-4}$ – yellow©; $1 \cdot 10^{-3}$ – blue©)

Полученные данные хорошо моделируются методом РСА с двумя главными компонентами. В данном анализе важен показатель зависимости образцов и переменных, которые представляют активность каталазы и ее спектральный диапазон. Анализ графиков счетов на рис. 1 показывает четкую зависимость активности каталазы от концентрации карбоната магния в питательной среде. Близость точек, выделенных красным (C_{MgCO_3} в питательной среде $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и сиреневым ($1 \cdot 10^{-6}$ моль/л), демонстрирует быстрый рост биомассы мицелия и высокий показатель активности каталазы по сравнению с точками зеленого цвета (контроль). При построении регрессионной зависимости по методу наименьших квадратов (МНК) требуется, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных значений от вычисленных по аппроксимирующей зависимости была минимальной, поэтому четко видно, как

⁵Pomerantsev A.L. Chemometrics in Excel: textbook. Tomsk, TPU Press. 2014. 435 p.

⁶Pomerantsev A.L. Chemometrics in Excel, John Wiley and Sons, 2014, 336 p.

разбросанно располагаются точки, выделенные желтым и синим цветом, с более высокими концентрациями магния в питательной среде (от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л). Это свидетельствует о снижении активности каталазы и роста мицелиарной массы, которые могут быть вызваны как повреждением структуры фермента, так и нарушением пути биосинтеза каталазы в присутствии большой концентрации магния. Поступающие в клетки растений токсиканты могут связываться с $-SH$, $-NH_2$, $-COOH$ группами аминокислот, входящими в состав фермента, что может привести к подавлению ферментативной активности. Хорошо известна концепция координированного действия активных форм кислорода (АФК) и метаболитов, важных для регуляции роста, развития и стресс-толерантности растительных организмов [18–20]. АФК – многофункциональные сигнальные молекулы, вносящие вклад в приспособительную способность, а воздействие какого-либо соединения – выраженного антиоксиданта – приводит к слабому развитию окислительного стресса. Вероятно, противодействуя АФК, агенты с антиоксидантными свойствами – металлосодержащие добавки – влияли на биохимические процессы макромицетов, могли служить одной из причин снижения ростовых показателей из-за отсутствия у грибов стресс-зависимой активации некоторых антиоксидантных ферментов. Кроме того, каталаза является хромопротеидом и имеет в качестве небелковой группы окисленный гем. Одна молекула каталазы способна вызвать разрушение 6×10^6 молекул H_2O_2 в секунду. Однако каталаза имеет низкое сродство к перекиси водорода, из-за этого начинает функционировать только при высоком ее содержании в клетке. Увеличение концентрации каталазы в клетках усиливает разложение перекиси водорода, что, в свою очередь, положительно влияет на скорость окислительно-восстановительных реакций. Возможно, повышение активности фермента ускоряет процессы метаболизма в клетке, оказывая влияние на скорость роста. Поэтому увеличение концентрации магния приводит к замедлению скорости роста био-

массы и активности каталазы за счет ответной реакции клеток на уровне ферментных компонентов системы антиоксидантной защиты при культивировании грибов.

Ключевыми антиоксидантными ферментами в клетках являются СОД, каталаза и пероксидаза. При этом СОД обеспечивает «первую линию» защиты клеток от АФК, катализируя реакцию дисмутации супероксидрадикала в различных компартментах клетки. Образовавшаяся в результате восстановления супероксида перекись водорода, молекула которой также относится к АФК, в свою очередь, нейтрализуется с помощью каталазы и ПО. Из литературных источников известно, что растения, устойчивые к различным неблагоприятным факторам среды, характеризуются более высокой активностью антиоксидантных ферментов по сравнению с неустойчивыми [20, 21]. В наших исследованиях определение активности супероксиддисмутазы проведено спектрофотометрическим методом при длине волны 560 нм, для построения графика счетов по активности СОД (усл. ед. / мг белка) также были задействованы указанные выше переменные.

Обнаруженное значительное увеличение активности СОД при концентрации магния в питательной среде (от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л), отмеченные на графике точками сиреневого и красного цвета, очевидно, обеспечивает защиту клеток от возрастания количества супероксидрадикалов. Результаты анализа рис. 2 свидетельствуют, что различные концентрации карбоната магния по-разному влияют на концентрацию белка при культивировании гриба *Pleurotus ostreatus*.

На графике счетов видно, что негативное влияние на активность супероксиддисмутазы мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* показали концентрации $1 \cdot 10^{-4}$, $1 \cdot 10^{-3}$. Низкий уровень СОД при увеличении концентрации магния в питательном растворе свидетельствует о том, что усиление окислительных процессов в их клетках не происходит. Предположительно, снижение интенсивности фермента СОД и роста биомассы в этом случае может быть связано с уменьшением количества АФК. Это, с одной стороны, связано с взаимодействием ионов металла с SH -группами мем-

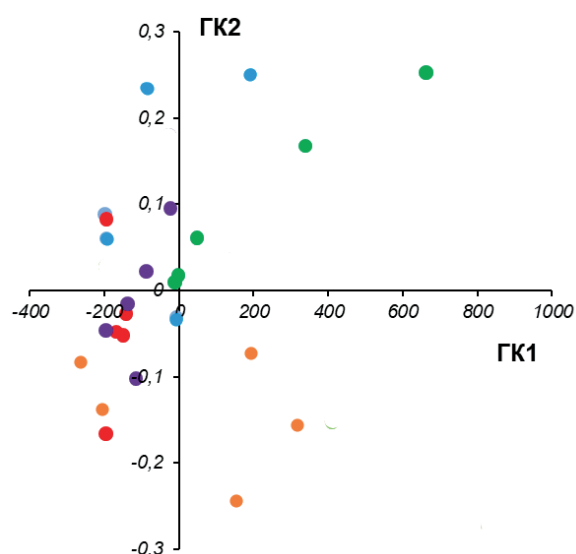


Рис. 2. Графики счетов (ГК1 и ГК2) по активности СОД, усл. ед. /мг белка (контроль – зеленый©; $1 \cdot 10^{-6}$ – сиреневый©; $1 \cdot 10^{-5}$ – красный©; $1 \cdot 10^{-4}$ – желтый©; $1 \cdot 10^{-3}$ – синий©)

Fig. 2. Graphs of scores (GS1 and GS2) by SOD activity, c. u. per mg of protein (control-green©; $1 \cdot 10^{-6}$ – lilac©; $1 \cdot 10^{-5}$ – red©; $1 \cdot 10^{-4}$ – yellow©; $1 \cdot 10^{-3}$ – blue©)

бренных белков, вызывающим изменение их свойств, с другой стороны, – со способностью металла опосредованно влиять на генерацию избыточных количеств АФК.

Анализ роста биомассы мицелия базидиомицетов, культивируемых погруженным способом в присутствии карбоната магния в различных концентрациях через 14 сут после засева питательных сред, выявил заметное

Табл. 2. Биомасса мицелия *Pleurotus ostreatus*, культивируемого в присутствии $MgCO_3$

Table 2. Biomass of mycelium *Pleurotus ostreatus* cultivated in the presence of $MgCO_3$

Концентрация в питательной среде (С), моль/л	Биомасса, мг	Биомасса, % к контролю*
Контроль*	836,6	100
$1 \cdot 10^{-6}$	1008,4	120,5
$1 \cdot 10^{-5}$	944,7	112,9
$1 \cdot 10^{-4}$	825,1	98,6
$1 \cdot 10^{-3}$	785,9	93,9

*Отсутствие $MgCO_3$ в питательной среде.

увеличение роста при концентрации $1 \cdot 10^{-6}$ и $1 \cdot 10^{-5}$ карбоната магния и составил 120,5 и 112,9% соответственно от контрольных показателей (см. табл. 2).

Однако более высокие концентрации, наоборот, имели снижение биомассы в процентных отношениях к контролю. Известно, что повышение содержания металлов в питательных средах приводит к ингибированию физиологических процессов, при этом степень ингибирования в значительной степени зависит от металлоустойчивости вида [20, 21].

Проведенное исследование показало, что различные концентрации магния по-разному влияют на концентрацию белка данного вида гриба. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что важную роль в ускорении роста биомассы мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* при использовании карбоната магния в растворе питательной среды с концентрацией $1 \cdot 10^{-6}$ и $1 \cdot 10^{-5}$ играют антиоксидантные ферменты, показатель активности которых хорошо моделируется методом многомерной регрессии.

Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение активности ферментов под воздействием ионов металлов в частности, в нашем исследовании карбоната магния, может происходить следующими путями:

- ионы металлов входят непосредственно в состав активного центра фермента (каталаза, пероксидаза);
- ионы металлов принимают участие в образовании фермент-субстратного комплекса (алкогольдегидрогеназа);
- ионы металлов способствуют поддержанию специфической каталитически активной конформации молекулы фермента, и в первую очередь его активного центра и т.д. Специфичность объясняется соответствием строения активного центра фермента и субстрата.

Таким образом, нами впервые были обработаны данные спектров поглощения по каталазной и супероксиддисмутазной активности методом многомерной регрессии в зависимости от фактора роста мицелиарной биомассы. Как показали результаты данного исследования, различный метаболический статус изу-

чаемых концентраций магния складывается на самых ранних этапах онтогенеза, и это выражается в различных значениях показателей активности ферментов и разнонаправленности метаболических стратегий. Изменения активности каталазы, как важного фермента, участвующего в формировании донорно-акцепторных отношений, также отражают различный метаболический статус роста мицелия гриба. Полученные результаты дают основание рассматривать метод многомерной регрессии перспективным подходом для экспрессной оценки спектрофотометрических данных.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных исследований можно заключить, что применение карбоната магния в питательной среде в концентрации $1 \cdot 10^{-5}$, $1 \cdot 10^{-6}$ влияет не только на ферментную активность базидиомицета *Pleurotus ostreatus*, но и на ростовые характеристики, а также на концентрацию белка в мицелиальных клетках.

2. Применение метода многомерной регрессии показывает, как взаимосвязаны между собой полученные переменные. Графики счетов наглядно указывают на зависимость роста мицелия от концентрации применяемой добавки.

3. Введение предложенных в работе условий культивирования в практику грибоводства потенциально сможет привести к более успешному противостоянию базидомицетов биотическому и абиотическому стрессу и внести определенный вклад в развитие фундаментальных основ науки о грибах. Культивируемые высшие грибы известны как природная биофабрика биологически активных соединений, в том числе антиоксидантных композиций. Проведенные исследования демонстрируют возможность увеличения выхода биомассы базидиомицетов при изменении условий их культивирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bhat M.A. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable and eco-friendly agriculture // Acta Scientific Agriculture. 2019. Vol. 3. N 1. C. 23–25.
2. Siyar S. Plant growth promoting rhizobacteria and plants' improvement-a mini-review // PSM Biological Research. 2019. Vol. 4. N 1. C. 1–5.
3. Fukami J. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation // AMB Express. 2018. Vol. 8. N 1. P. 1–12.
4. Oh S.Y. Effect of fruiting body bacteria on the growth of Tricholoma matsutake and its related molds // PLoS One. 2018. Vol. 13. N 2. P. 0190948.
5. Zhang W.R. Development of a novel spawn (block spawn) of an edible mushroom, *Pleurotus ostreatus*, in liquid culture and its cultivation evaluation // Mycobiology. 2019. Vol. 47. N 1. P. 97–104.
6. Kumari S., Naraian R. Enhanced growth and yield of oyster mushroom by growth-promoting bacteria *Glutamicibacter arilaitensis* MRC119 // Journal of Basic Microbiology. 2021. Vol. 61. N 1. C. 45–54.
7. Majesty D. Nutritional, anti-nutritional and biochemical studies on the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* // EC Nutrition. 2019. Vol. 14. N 1. P. 36–59.
8. Mutukwa I.B. Evaluation of drying method and pretreatment effects on the nutritional and antioxidant properties of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) // Journal of Food Processing and Preservation. 2019. Vol. 43. N 4. P. 13910.
9. Nam W.L. Production of bio-fertilizer from microwave vacuum pyrolysis of palm kernel shell for cultivation of Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) // Science of the total environment. 2018. Vol. 624. P. 9–16.
10. Phan C.W. Giant oyster mushroom, *Pleurotus giganteus* (Agaricomycetes): current status of the cultivation methods, chemical composition, biological, and health-promoting properties // Food Reviews International. 2019. Vol. 35. N 4. C. 324–341.
11. Sangeetha K. Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus* sp.) using different substrates and evaluate their potentials of antibacterial and phytochemicals // International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 10. N 2. C. 997–1001.
12. Vetvicka V. Immune-modulating activities of glucans extracted from *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* // Journal of Functional Foods. 2019. Vol. 54. P. 81–91.
13. Zhu B. The hepatoprotective effect of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* on carbon tet-

- rachloride-induced acute liver injury rats // International journal of biological macromolecules. 2019. Vol. 131. P. 1–9.
14. Tsivileva O.M., Pankratov A.N., Misin V.M., Zavyalov A.Y., Volkov V.A., Tsymbal O.A., Yurasov N.A., Nikitina V.E. Antioxidant properties of the Artist's Conk medicinal mushroom, *Ganoderma applanatum* (Agaricomycetes), upon cultivation with para-substituted phenolic compounds and tea leaf extracts // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2018. Vol. 20. N 6. P. 549–560.
 15. Глазунова А.В., Песцов Г.В. Культивирование гриба *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm. на различных субстратах // Вестник современных исследований. 2018. № 7.1 (22). С. 190–191.
 16. Кульгавеня А.Д., Нукандров В.Н. Протеолитическая активность мицелиальной культуры гриба вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) при глубинном культивировании // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2020. № 1. С. 12–23.
 17. Zied D.C., Cardoso C., Pardo-Gimenez A., Dias E., Zeraik M.L., Pardo J.E. Using of appropriated strains in the practice of compost supplementation for *Agaricus subrufescens* production // Front Sustain Food Syst. 2018. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00026.
 18. Xia K., Weesner F., Bleam W.F., Bloom P.R., Skyllberg U.L., Helmke P.A. XANES studies of oxidation states of sulfur in aquatic 82 and soil humic substances // Soil Science Society of America (United States). 2015. Vol. 62. P. 1240–1246.
 19. Milanović Z., Pantelić S., Čović N., Sporiš G., Mohr M., Krusturup P. Broad-spectrum physical fitness benefits of recreational football: a systematic review and meta-analysis // British Journal of Sports Medicine. 2019. N 53 (15). P. 93–98.
 20. Песцов Г.В., Третьякова А.В., Мяжкова А.С., Яковлева Ж.А. Выделение и развитие мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* на различных питательных средах // Форум молодёжной науки. 2022. Т. 3. № 2. С. 4–7.
 21. Ali N., Zhang Q., Liu Z.Y., Li F.L., Lu M., Fang X.C. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic materials for bio-based products // Appl Microbiol Biotechnol. 2020. Vol. 104 (2). P. 455–473.
 - agriculture. *Acta Scientific Agriculture*, 2019, vol. 3, no. 1, pp. 23–25.
 2. Siyar S. Plant growth promoting rhizobacteria and plants' improvement-a mini-review. *PSM Biological Research*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 1–5.
 3. Fukami J. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 1–12.
 4. Oh S.Yu. Effect of fruiting body bacteria on the growth of *Tricholoma matsutake* and its related molds. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. e0190948.
 5. Zhang W.R. Development of a novel spawn (block spawn) of an edible mushroom, *Pleurotus ostreatus*, in liquid culture and its cultivation evaluation. *Mycobiology*. 2019, vol. 47, no. 1, pp. 97–104.
 6. Kumari S., Naraian R. Enhanced growth and yield of oyster mushroom by growth-promoting bacteria *Glutamicibacter arilaitensis* MRC119. *Journal of Basic Microbiology*, 2021, vol. 61, no. 1, pp. 45–54.
 7. Majesty D. Nutritional, anti-nutritional and biochemical studies on the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *EC Nutrition*, 2019, vol. 14, no. 1, pp. 36–59.
 8. Mutukwa I.B. Evaluation of drying method and pretreatment effects on the nutritional and antioxidant properties of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, vol. 43, no. 4, pp. 13910.
 9. Nam W.L. Production of bio-fertilizer from microwave vacuum pyrolysis of palm kernel shell for cultivation of Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Science of the total environment*, 2018, vol. 624, pp. 9–16.
 10. Phan C.W. Giant oyster mushroom, *Pleurotus giganteus* (Agaricomycetes): current status of the cultivation methods, chemical composition, biological, and health-promoting properties. *Food Reviews International*, 2019, vol. 35, no. 4, pp. 324–341.
 11. Sangeetha K. Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus* sp.) using different substrates and evaluate their potentials of antibacterial and phytochemicals. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 997–1001.
 12. Vetvicka V. Immune-modulating activities of glucans extracted from *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*. *Journal of Functional Foods*, 2019, vol. 54, pp. 81–91.

REFERENCES

1. Bhat M.A. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable and eco-friendly

13. Zhu B. The hepatoprotective effect of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* on carbon tetrachloride-induced acute liver injury rats. *International journal of biological macromolecules*, 2019, vol. 131, pp. 1–9.
14. Tsivileva O.M., Pankratov A.N., Misin V.M., Zavyalov A.Y., Volkov V.A., Tsymbal O.A., Yurasov N.A., Nikitina V.E. Antioxidant properties of the Artist's Conk medicinal mushroom, *Ganoderma applanatum* (Agaricomycetes), upon cultivation with para-substituted phenolic compounds and tea leaf extracts. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2018, vol. 20, no. 6. P. 549–560.
15. Glazunova A.V., Pestsov G.V. Cultivation of the fungus *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm. on different substrates. *Vestnik sovremennykh issledovaniy = Bulletin of Modern Research*, 2018, no. 7.1 (22), pp. 190–191. (In Russian).
16. Kul'gavenya A.D., Nikandrov V.N. Proteolytic activity of fungus *Pleurotus ostreatus* mycelial culture in deep-liquid cultivation. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodovedcheskikh nauk = Bulletin of Polessky State University. Series in Natural Sciences*, 2020, no. 1, pp. 12–23. (In Russian).
17. Zied D.C., Cardoso C., Pardo-Gimenez A., Dias E., Zeraik M.L., Pardo J.E. Using of appropriated strains in the practice of compost supplementation for *Agaricus subrufescens* production. *Front Sustain Food Syst*, 2018. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00026.
18. Xia K., Weesner F., Bleam W.F., Bloom P.R., Skyllberg U.L., Helmke P.A. XANES studies of oxidation states of sulfur in aquatic and soil humic substances. *Soil Science Society of America (United States)*, 2015, vol. 62, pp. 1240–1246.
19. Milanović Z., Pantelić S., Čović N., Sporiš G., Mohr M., Krustup P. Broad-spectrum physical fitness benefits of recreational football: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 2019, no. 53 (15), pp. 93–98.
20. Pestsov G.V., Tret'yakova A.V., Myagkova A.S., Yakovleva Zh.A. Isolation and development of the mycelium of the fungus *Pleurotus ostreatus* on various nutrient media. *Forum molodezhnoi nauki = Youth Science Forum*, 2022, vol. 3, no. 2, pp. 4–7. (In Russian).
21. Ali N., Zhang Q., Liu Z.Y., Li F.L., Lu M., Fang X.C. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic materials for bio-based products. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2020, vol. 104 (2), pp. 455–473.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Ловцова Л.Г., кандидат технических наук, доцент; адрес для переписки: Россия, 410012, Саратов, Театральная площадь, 1; e-mail: larisalovtsova2018@mail.ru

Забелина М.В., доктор биологических наук, профессор

Майоров А.В., младший научный сотрудник

Усков К. Ю., аспирант

Тюрин И.Ю., кандидат технических наук, доцент

Мавзовин В.С., кандидат математических наук, доцент

AUTHOR INFORMATION

✉ Larisa G. Lovtsova, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor; address: 1, Teatralnaya Ploshad, Saratov, 410012, Russia; e-mail: larisalovtsova2018@mail.ru

Margarita V. Zabelina, Doctor of Science in Biology, Professor

Alexander V. Mayorov, Junior Researcher

Kirill Yu. Uskov, Post-graduate Student

Igor Yu. Tyurin, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor

Vladimir S. Mavzovin, Candidate of Science in Mathematics, Associate Professor

Дата поступления статьи / Received by the editors 24.10.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 27.01.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-5>

УДК: 636.1:619

Тип статьи: обзорная

Type of article: review

ВЕТЕРИНАРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТАБУННОГО КОНЕВОДСТВА: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Донченко А.С.,¹ (✉) Неустроев М.П.,² Тарабукина Н.П.²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова –
подразделение Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, Якутск

(✉) e-mail: mneyc@mail.ru

Представлены разработанные иммунобиологические препараты для профилактики инфекционных болезней лошадей табунного содержания. Инфекционные болезни лошадей регистрируют почти во всех странах Азии, Европы и Америки. В России, Казахстане, Киргизии и Монголии наиболее распространенными болезнями являются мыт, ринопневмония и сальмонеллезный аборт, которые наносят значительный экономический ущерб табунному коневодству. В зарубежных странах разрабатывают и производят различные моновакцины, большинство из них применения в России не имеют. Нами установлено одновременное заболевание кобыл ринопневмонией и сальмонеллезом, а также молодняки лошадей ринопневмонией, сальмонеллезом и мытом. В связи с этим актуальной проблемой становится разработка моновакцин и комбинированных иммунобиологических препаратов. Иммуногенность инфекционных вакцин следует усиливать иммуномодуляторами, особенно в экстремальных условиях ведения табунного коневодства. В период проблемы появления антибиотикорезистентных штаммов микроорганизмов следует разрабатывать альтернативные антибактериальные средства: пробиотики и бактериофаги. Выделены, идентифицированы и депонированы во всероссийских коллекциях восемь новых штаммов микроорганизмов. Разработан пробиотик Сахабактисубтил, который используют для профилактики и лечения дисбактериозов, микотоксикозов, мыта, лептоспироза, обеззараживания навоза. Разработаны новые эффективные вакцинные препараты и закваска «Якутская кумысная», которые можно успешно использовать для повышения продуктивности коневодства в других субъектах Российской Федерации и за рубежом. Подготовлена научно-техническая документация на инактивированную вакцину против ринопневмонии, комбинированные двух- и трехвалентные вакцины. Разработанные иммунобиологические препараты защищены 48 патентами на изобретение и могут быть использованы в других странах.

Ключевые слова: лошади, вакцина, пробиотик, кумыс, бактериофаги

VETERINARY SUPPORT OF THE HERD HORSE BREEDING: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Donchenko A.S.¹, (✉) Neustroev M.P.², Tarabukina N.P.²

¹Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture – Division of the Yakut Scientific
Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Yakutsk, Russia

(✉) e-mail: mneyc@mail.ru

Developed immunobiological preparations for the prevention of infectious diseases in herd horses are presented. Infectious diseases of horses are registered in almost all countries in Asia, Europe and America. In Russia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, and Mongolia, the most common diseases are strangles

of horses, rhinopneumonia, and salmonella abortion, which cause significant economic damage to herd horse breeding. Various monovaccines are developed and produced in foreign countries, most of them have no use in Russia. We have found a simultaneous disease of mares with rhinopneumonia and salmonellosis, as well as young horses with rhinopneumonia, salmonellosis and strangles. In this regard, the development of monovaccines and combined immunobiological preparations is becoming an urgent problem. Immunogenicity of infectious vaccines should be enhanced by immunomodulators, especially in the extreme conditions of herd horse breeding. At a time when antibiotic-resistant strains of microorganisms are a problem, alternative antibacterial agents should be developed: probiotics and bacteriophages. Eight new microbial strains have been isolated, identified, and deposited in all-Russian collections. Sahabaktisubtil probiotic has been developed, which is used to prevent and treat dysbacteriosis, mycotoxicosis, strangles, leptospirosis, decontamination of manure. New effective vaccine preparations and “Yakutskaya Koumissnaya” starter culture have been developed that can be successfully used to increase the productivity of horse breeding in other regions of the Russian Federation and abroad. Scientific and technical documentation was prepared for inactivated vaccine against rhinopneumonia, combined bivalent and trivalent vaccines. The developed immunobiological preparations are protected by 48 patents for invention and can be used in other countries.

Keywords: horses, vaccine, probiotic, koumiss, bacteriophages

Для цитирования: Донченко А.С., Неустроев М.П., Тарабукина Н.П. Ветеринарное обеспечение табунного коневодства: проблемы и пути решения // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 43–50. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-5>

For citation: Donchenko A.S., Neustroev M.P., Tarabukina N.P. Veterinary support of the herd horse breeding: problems and solutions. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 43–50. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-5>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

В азиатских и африканских странах, Европе, США [1, 2], Российской Федерации, Республике Казахстан, Кыргызстане и Монголии [3, 4] нерешенной проблемой табунного коневодства остается профилактика некоторых массовых инфекционных болезней, в их числе ринопневмонии (вирусный аборт лошадей), сальмонеллезного аборта и мыта лошадей. В результате потерь от этих заболеваний выход жеребят на 100 конематок снижается до 45% [4]. Однако в России и мировой практике мало эффективных иммунобиологических препаратов для профилактики и лечения инфекционных болезней.

В целях профилактики ринопневмонии лошадей разработаны живая вирусвакцина и инактивированная с иммуномодулятором [4]. В разных странах разрабатывают и применяют живые и инактивированные моновакцины против мыта [5–7].

Как показывают результаты наших исследований и других авторов, ринопневмония и сальмонеллезный аборт у кобыл протекают

одновременно. Известно, что около 20–30% маток – носители мытного стрептококка. Они являются источниками инфекции и способствуют распространению мыта среди жеребят [8, 9]. У молодняка лошадей отмечено одномоментное заболевание ринопневмонией, сальмонеллезом и мытом. При таких осложнениях летальность может достигать до 22% [3].

Цель работы – представить разработанные иммунобиологические препараты для профилактики инфекционных болезней лошадей табунного содержания.

Родовую и видовую идентификацию микроорганизмов проводили согласно «Справочнику по микробиологическим и вирусологическим исследованиям» (1982 г.), «Определителю зоопатогенных микроорганизмов» (1995 г.), а также по «Определителю бактерий Берджи» (1997 г.). Выживаемость возбудителей инфекционных болезней изучена согласно общепринятым методикам по ветеринарной санитарии.

Доклинические и клинические испытания, разработку досье проводили согласно ФЗ от 12.04.2010 (№ 61-ФЗ), приказам Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 06.03.2018 (№ 101), от 22.08.2017 (№ 430). Штаммы депонированы во Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов (ВГНКИ).

Для изучения антагонистических свойств бактерий в качестве тест-культур испытаны паспортизованные штаммы: *Staphylococcus aureus* (шт. 209 Р), полученный во ВГНКИ, *Staphylococcus equi* Н-34, *Salmonella abortus equi* БН-12 – ЯНИИСХ, *Escherichia coli* (шт. 1257) – ВНИИВСГЭ; *Salmonella pullorum* (шт. 106), *Brucella abortus* (in-82) – ВИЭВ, а также местные штаммы: *St. aureus* К-1, *Sal. typhimurium*, *Sal. dublin*, *Pseudomonas*, *Micobacterium*, *Rajendra soloni*, *Streptomyces*, *Fusarium*.

Нами выделены, идентифицированы и депонированы во Всероссийской государственной коллекции штаммов микроорганизмов, используемых в ветеринарии и животноводстве (ВГНКИ): *Sal. abortus equi* БН-12, *Str. equi* Н 5/1, *Bacillus subtilis* ТНП-3, *Bacillus subtilis* ТНП-5.

Проведены депонирования в Государственной коллекции микроорганизмов нормальной микрофлоры (ГКНМ) «МНИИЭМ» им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора: *Lactobacillus acidophilus* К 1901, *L. acidophilus* К 1902, *L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* К 1903. Штамм *Clavispora lusitanae* 1Д (У-4861) депонирован в Биоресурсном центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (БРЦ ВКПМ), НИЦ «Курчатовский институт» (ГосНИИгенетика). Молекулярно-генетическая идентификация микроорганизмов проведена ЦКП «Геномика» и ВГНКИ [3].

Проведенные исследования показали, что сроки выживаемости некоторых микроорганизмов на объектах внешней среды в условиях вечной мерзлоты в 2–3 раза превышают сроки сохранения жизнеспособности аналогичных микроорганизмов в южных и европейских территориях России и за рубежом. При

изучении микробной контаминации и сроков выживаемости микроорганизмов установлено значительное содержание аэробных спорообразующих бактерий (более 2×10^6 КОЕ/г) в мерзлотных почвах Центральной Якутии. Выделение жизнеспособных бактерий рода *Bacillus* из представителей мамонтовой фауны, сохранившихся в многолетних мерзлых грунтах (возраст 30–40 тыс. лет), доказывает роль вечной мерзлоты в сохранении бактерий плейстоценового периода. Вечная мерзлота способствует длительному сохранению очагов и факторов передачи возбудителей инфекционных болезней. Выделение с поверхностей ледников и от диких животных возбудителей иерсиниозов указывает на опасность контаминации продуктов питания при их хранении и употреблении. Установление циркуляции возбудителей вирусных болезней среди северных оленей и лошадей предполагает роль перелетных птиц в распространении инфекционных болезней. Актуальным остается изучение эпизоотологии сибирской язвы. Знание сроков выживаемости микроорганизмов на объектах внешней среды в экстремальных условиях Крайнего Севера и изучение микробиоты диких животных и перелетных птиц необходимы для оптимизации противоэпизоотических и эпидемиологических мероприятий при обеспечении биологической безопасности. Проблема имеет мировое значение.

Штамм бактерий *B. subtilis* ТНП-3 обладает более выраженной антагонистической активностью против патогенных микроорганизмов для человека и животных, *B. subtilis* ТНП-5 – против возбудителей болезней растений (ризоктониоза, фузариоза и парши картофеля). Штаммы бактерий не имеют патогенных свойств для лабораторных и сельскохозяйственных животных.

В результате проведенных исследований разработан и внедрен пробиотик Сахабактисубтил для профилактики дисбактериозов, повышения иммунобиологической реактивности сельскохозяйственных животных. Утверждена инструкция по применению (от 06.06.2012). Препарат зарегистрирован (71-111.12-0850 № ПВР-1.6/01632).

Установлено, что в условиях Якутии компостирование птичьего помета, навоза с различными субстратами, опилками, сапропелем, торфом, соломой, цеолитом не всегда дает положительный результат обеззараживания. Наиболее надежный метод обеззараживания – добавление при компостировании навоза и помета микроба-антагониста *B. subtilis* ТНП-3 в виде 1 млрд суспензии или *B. subtilis*, адсорбированного на цеолите (0,5% к массе компоста), с выдержкой 80 дней в летний период.

Результаты исследований микробиоты кишечника молодняка лошадей показали снижение содержания лактобактерий, бифидобактерий, лактоположительных эшерихий и грибов в зимний период (декабрь – март). В этот период отмечено увеличение количества условно-патогенной микрофлоры – лактозоотрицательных эшерихий и стафилококков. Полученные результаты указывают на развитие дисбактериоза у молодняка лошадей. Как известно, при нарушении соотношения условно-патогенной и нормальной микробиоты снижаются переваримость кормов и иммунобиологическая реактивность организма.

Следует отметить заселение кишечника молодняка лошадей с первых дней жизни спорообразующими аэробными бактериями. Доминирование этих микроорганизмов в микробиоте кишечника лошадей сохранялось во все периоды исследования. Полученные данные подтверждают результаты предыдущих исследований, показывающих, что в период формирования нормофлоры жеребят, телят, поросят, птиц и клеточных зверей спорообразующие аэробные бактерии несут активную защитную функцию от патогенных и условно-патогенных микроорганизмов и являются представителями нормальной микробиоты организма животных в условиях Крайнего Севера.

Развитию дисбактериоза кишечника, снижению иммунобиологической реактивности организма и распространению гельминтозов, ринопневмонии, мыта и сальмонеллеза способствуют отъем жеребят от матерей, неполноценное и недостаточное кормление, продолжительные низкие температуры

(–43 ... 45 °С) и отсутствие плановых профилактических мероприятий.

Нами установлено, что применение пробиотика Сахабактисубтил с цеолитом при кормлении молодняка лошадей в зимний период корректирует нарушенную микробиоту кишечника, стимулирует иммунобиологическую реактивность, повышает среднесуточные привесы. Положительное влияние пробиотика на организм молодняка объясняется способностью штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 стимулировать развитие нормальной микрофлоры, подавлять развитие токсинообразующих плесневых грибов, продуцировать ферменты. Протеолитическая, желатиназная, амилазная, целлюлозолитическая, β -глюконазная, фруктозилтрансферазная и ксиланазная активность штаммов бактерий способствует повышению переваримости и усвояемости питательных веществ.

Дегельминтизация молодняка 8–9-месячного возраста после отъема от матерей, которую практикуют почти во всех коневодческих хозяйствах Республики Саха (Якутия), усугубляет явление дисбактериоза, приводит к снижению темпов роста и развития. Препарат Сахабактисубтил следует назначать при лечении и профилактике паразитарных болезней лошадей любыми антигельминтными препаратами.

Кормовая добавка на основе местного сырья с препаратом Сахабактисубтил при подкормке жеребым кобылам увеличивает переваримость сухого вещества на 5,14%, органического вещества – на 2,29, сырого протеина – на 26,05, сырой клетчатки – на 3,95, сырого жира на 4,74%. Уровень обменной энергии у кобыл контрольной группы был меньше на 6,30 МДж, или 6,54%. Также пробиотик оказывает положительное влияние на деловой выход жеребят по сравнению с контрольной группой животных (увеличивается на 10%).

Согласно инструкции при установлении лептоспироза, больных животных изолируют и лечат антибиотиками, а затем вакцинируют. Однако известно, что использование антибиотиков вызывают дисбактериоз кишечника, снижает иммунобиологическую реактив-

ность и иммуногенность вакцины, способствует появлению антибиотикорезистентных штаммов лептоспир. Нами установлено, что препарат Сахабактисубтил в лабораторных условиях вызывает лизис лептоспир серогрупп *Pomona*, *Tarassovi*, *Grippotyphosa*, *Hebdomadis*, *Sejroe*, *Icterohaemorrhagiae*, *Canicola*. Лабораторными исследованиями установлена устойчивость штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 к воздействию широкого ряда антибиотиков (канамицин, рифампицин, левомицитин, фуросидоксин, ампициллин, неомицин, эритромицин и киноэкс), малоустойчивость к цефуроксиму, цефотоксиму, ципрофлаксону, гентамицину, чувствительность к ципрофлоксацину. Пробиотик Сахабактисубтил рекомендуется использовать в сочетании с антибиотиками для подавления возбудителя лептоспироза, повышения иммунобиологической реактивности, устранения дисбактериоза и обеззараживания объектов внешней среды.

Одним из перспективных мер борьбы с микотоксикозами считают биологический метод с использованием аэробных спорообразующих бактерий рода *Bacillus*. Нами установлено, что штаммы бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 обладают выраженным фунгицидным действием в отношении микроскопических грибов *Aspergillus niger*, *Mucor ramosissimus*, *Candida albicans*, *Fusarium semitectum*. Пробиотик Сахабактисубтил, адсорбированный на овсе, можно использовать в качестве препарата для борьбы с плесневыми грибами кормов. Обработка овса пробиотиком Сахабактисубтил снижает количество плесневых грибов в 40 раз, нормализует кишечный микробиоценоз, стимулирует иммунобиологическую активность, повышает живую массу молодняка.

В системе мер борьбы и профилактики мыта лошадей большое значение имеет проведение лечебных мероприятий. В лабораторных условиях установлена выраженная антагонистическая активность штамма *B. subtilis* ТНП-3 к возбудителю мыта лошадей. Доказана возможность использования суспензии штамма бактерий *B. subtilis* ТНП-3 для лечения мыта лошадей и сравнительно

высокая ее терапевтическая эффективность, особенно при смешанных вирусно-бактериальных болезнях (мыт и ринопневмония). Добавление штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 в состав инаktivированных вакцин против мыта и сальмонеллезного аборта лошадей повышает их иммуногенность. Иммуномодулирующая способность обусловлена иммуностимулирующей и интерферониндуцирующей активностью штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5.

В целях специфической профилактики сальмонеллезного аборта лошадей разработана инаktivированная вакцина из штамма *Sal. abortus equi* БН-12 с фугатом штамма *B. subtilis* ТНП-3 в качестве иммуномодулятора. Доклинические испытания проведены на лабораторных белых мышах, клинические – на лошадях. Установлено отсутствие токсичности препарата. Иммуногенность на белых мышах составила 90%, на кобылах – 100%. Производственные испытания вакцины показали, что после иммунизации деловой выход жеребят повышается на 13,8%. Экономическая эффективность использования вакцины с фугатом штамма *B. subtilis* ТНП-3 на 1 р. затрат составила 14,1 р. Утверждена инструкция по применению вакцины и получено регистрационное удостоверение (71-1-10.19-4495 № ПВР-1-1.6/01631 от 10.06.2019).

Нами разработана новая инаktivированная вакцина против мыта лошадей с иммуномодулятором, изготовленная из штамма бактерий *Str. equi* Н-5/1, в качестве иммуномодулятора добавлен фугат штамма бактерий *B. subtilis* ТНП-3. Доклинические испытания на лабораторных животных (белые мыши, кролики) показали, что вакцина предохраняет от экспериментального заражения патогенным штаммом мытного стрептококка до 90% белых мышей и не оказывает токсического действия на организм лабораторных животных.

Клинические испытания проведены на жеребятках 6–8-месячного возраста. Эффективность иммунизации – 97,6%. Экономический эффект на 1 гол. составил 3,99 тыс. р., на 1 р. затрат – 6,65 р. прибыли. Вакцина зарегистрирована в реестре лекарственных

средств для ветеринарного применения (Россельхознадзор РФ) под регистрационным номером 71-1-27.21-4828 № ПВР-1-27.21/03691 от 08.12.2021.

Комбинированная вакцина против ринопневмонии и мыта молодняка лошадей изготовлена из инаktivированных штаммов вируса ринопневмонии СВ/69, бактерии *Str. equi* Н-5/1 и иммуномодулятора из штамма бактерий *B. subtilis* ТНП-3. Доклиническое испытание показало отсутствие острой токсичности, алергизирующих и пирогенных свойств. Комбинированная вакцина предохраняет от экспериментального заражения вирусом ринопневмонии 75% иммунизированных животных, возбудителем мыта – 80%. Производственные испытания подтвердили результаты доклинических исследований.

Завершены доклинические и клинические испытания инаktivированной вакцины против ринопневмонии. Защитный эффект от экспериментальной инфекции ВГЛ-1 по заболеваемости на линейных мышах при одно- и двукратном введении вакцины составил 60%, по летальности при одно- и двукратном введении вакцины – 100%. Инаktivированная вакцина против ринопневмонии с культуральной жидкостью штамма бактерий *B. subtilis* ТНП-3 при однократном введении не уступает по эффективности живой вирусвакцине. Иммунизация жеребых кобыл в неблагополучных по ринопневмонии пунктах повышает деловой выход жеребят на 10,9–33,3%.

Комбинированная вакцина изготовлена из штамма СВ/69 вируса ринопневмонии и штамма бактерий *Sal. abortus equi* БН-12 с добавлением иммуномодулятора – культуральной жидкости (фугата) из штамма бактерий *B. subtilis* ТНП-3. Вакцина предохраняет от экспериментального заражения вирусом ринопневмонии 87,5% иммунизированных лошадей, от инфекции возбудителя сальмонеллезного аборта – 100%. Иммунизация вакциной в неблагополучных пунктах повышает деловой выход молодняка до 24,1%.

Нами разработана трехвалентная вакцина, изготовленная из штамма СВ/69 вируса ринопневмонии (ВИЭВ), штаммов бактерий *Sal. abortus equi* БН-12 возбудителя сальмо-

неллезного аборта и *Str. equi* Н-34. Препарат предохраняет от экспериментального заражения вирусом ринопневмонии 88,8% лабораторных мышей, от возбудителя сальмонеллезного аборта и мыта – 100%.

Трехвалентная вакцина стимулирует иммунобиологическую реактивность, индуцирует синтез специфических антител в высоких титрах и повышает деловой выход жеребят от 18 до 38%. При клиническом испытании комбинированной трехвалентной вакцины на молодняке лошадей (657 гол.) установлена высокая эффективность: она предохраняет от заболевания 94–100% привитых животных.

Разработанные вакцины по иммуногенности, безвредности и экологичности не только не уступают, но и превосходят известные в мире вакцины [2, 10]. Следует отметить, что антибиотики в составе вакцины нарушают развитие гуморального иммунитета [11].

Высокую эффективность инаktivированных вакцин можно объяснить антигенной активностью вакцинных штаммов и иммуномодулирующим компонентом – культуральной жидкостью (фугатом) штамма бактерий *B. subtilis* ТНП-3, который, согласно результатам наших предыдущих исследований, может индуцировать синтез интерферона и стимулировать иммунобиологическую реактивность организма, усиливать иммуногенность инаktivированных бактериальных и вирусных вакцин [3, 4].

Кумыс – национальный кисломолочный продукт тюрских народов – известен с давних пор. Однако в производстве кумыса, как и любых кисломолочных продуктов, необходима закваска. Впервые в Якутии нами разработана закваска «Якутская кумысная» с использованием штаммов бактерий *Lactobacillus acidophilus* К 1901, *L. acidophilus* К 1902, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* К 1903, культуры дрожжей *Clavispora lusitaniae* 1 Д, предназначенная для массового производства.

Поиск новых штаммов микроорганизмов – продуцентов биологически активных веществ, используемых в разработке иммунобиологических препаратов, продолжается. В качестве альтернативы антибиотикам разра-

батывают новые пробиотические препараты, бактерииофаги.

В целях коммерциализации разработок создано и функционирует лицензированное предприятие Научно-производственный центр «Хоту-Бакт». Вакцины реализуются в субъектах России, Казахстане. В плане – освоение рынка Монголии.

ВЫВОДЫ

1. Выделены, идентифицированы и депонированы во всероссийских коллекциях восемь новых штаммов микроорганизмов. Длительная выживаемость микроорганизмов, обусловленная вечной мерзлотой региона, усложняет эпидемиологическую и эпизоотическую ситуацию, однако представляет интерес для микробиологов.

2. Разработан пробиотик Сахабактисубтил, который используют для профилактики и лечения дисбактериозов, микотоксикозов, мыта, лептоспироза, обеззараживания навоза.

3. Разработаны новые эффективные вакцинные препараты и закваска «Якутская кумысная», которые можно успешно использовать для повышения продуктивности коневодства в других субъектах Российской Федерации и за рубежом. Научная новизна разработок подтверждена 48 патентами на изобретение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grandolfo E., Parisi A., Ricci A., Lorusso E., Sina R., Trotta A., Buonavoglia D., Martella V., Corrente M. High mortality in foals associated with *Salmonella enterica* subsp. *enterica* Abortusequi infection in Italy // *Journal of Veterinary Diagnostic*. 2018. Vol. 30 (3). P. 483–485. DOI: 10.1177/1040638717753965.
2. Boyle A.G., Timoney J.F., Newton J.R., Hines M.T., Waller A.S. Streptococcus equi Infections in horses: guidelines for treatment, control, and prevention of strangles-revised consensus statement // *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2018. Vol. 32. P. 633–647. DOI: 10.1111/jvim.15043.
3. Неустроев М.П. Разработка иммунобиологических препаратов при мыте лошадей: монография. Новосибирск: «СибАК». 2022. 218 с.
4. Неустроев М.П., Петрова С.Г., Ордахов И.А. Сальмонеллезный аборт лошадей: Этиология, эпизоотология, меры борьбы, профилактика: монография. Новосибирск: «СибАК», 2019. 104 с.
5. Minoru O., Hiroshi B., Manabu N., Yoshinori K., Norihisa T., Koji T. Antibody Responses Against Equine Influenza Virus Induced by Concurrent and by Consecutive Use of an Inactivated Equine Influenza Virus Vaccine and a Modified Live Equine Herpesvirus Type 1 Vaccine in Thoroughbred Racehorses // *Journal of Equine Veterinary Science*. 2020. Vol. 94. DOI: 10.1016/j.jevs.2020.103221.
6. Ameer K., Chirom A., Raymundo R.R.C., Alberto B.P. Equine Herpesvirus-I Infection in Horses: Recent Updates on its Pathogenicity, Vaccination, and Preventive Management Strategies // *Journal of Equine Veterinary Science*. 2020. Vol. 87. P. 102923. DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102923.
7. Laval K., Poelaert K.C.K., Van Cleemput J., Zhao J., Vandekerckhove A.P., Gryspeerdt A.C., Garré B., vander Meulen K., Baghi H.B., Dubale H.N., Zarak I., Van Crombrugge E., Nauwynck H.J. The Pathogenesis and Immune Evasive Mechanisms of Equine Herpesvirus Type 1 // *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. P. 662–686. DOI: 10.3389/fmicb.2021.662686.
8. Kim J.W., Jung J.Y., Lee K., Lee H., Kim H.Y., Yoon S.S., So B.J., Choi E. A case of Streptococcus equi subspecies zooepidemicus infection in a thoroughbred horse // *Comparative Pathology*. 2018. Vol. 158. P. 137. DOI: 10.1016/j.jcpa.2017.10.133.
9. Tscheschlok L., Venner M., Steward R., Böse R., Riihimäki M., Pringle J. Decreased Clinical Severity of Strangles in Weanlings Associated with Restricted Seroconversion to Optimized Streptococcus equi ssp equi Assays // *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2018. Vol. 32 (1). P. 459–464. DOI: 10.1111/jvim.15037.
10. Boyle A.G., Mitchel C., Stefanovski D., Waller A.S. Horses vaccinated with live attenuated intranasal strangles vaccine seroconvert to SEQ2190 and SeM // *Equine Veterinary Journal*. 2021. Vol. 54 (2). P. 299–305. DOI: 10.1111/evj.13443.
11. Pringle J., Storm E., Waller A., Riihimäki M. Influence of penicillin treatment of horses with strangles on seropositivity to Streptococcus equi ssp. equi-specific antibodies // *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2020. Vol. 34 (1). P. 294–299. DOI: 10.1111/jvim.15668.

REFERENCES

1. Grandolfo E., Parisi A., Ricci A., Lorusso E., Siena R., Trotta A., Buonavoglia D., Martella V., Corrente M. High mortality in foals associated with *Salmonella enterica* subsp. *enterica* Abortusequi infection in Italy. *Journal of Veterinary Diagnostic*, 2018, vol. 30 (3), pp. 483–485. DOI: 10.1177/1040638717753965.
2. Boyle A.G., Timoney J.F., Newton J.R., Hines M.T., Waller A.S. Streptococcus equi Infections in horses: guidelines for treatment, control, and prevention of strangles-revised consensus statement. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 2018, vol. 32, p. 633–647. DOI: 10.1111/jvim.15043.
3. Neustroev M.P. *Development of immunobiological preparations for strangles of horses*. Novosibirsk, «SIBAK» Publ., 2022, 218 p. (In Russian).
4. Neustroev M.P., Petrova S.G., Ordakhov L.A. *Salmonellosis abortion in horses: etiology epizootology, control measures, prevention*. Novosibirsk, «SIBAK» Publ., 2019, 104 p. (In Russian).
5. Minoru O., Hiroshi B., Manabu N., Yoshinori K., Norihisa T., Koji T. Antibody Responses Against Equine Influenza Virus Induced by Concurrent and by Consecutive Use of an Inactivated Equine Influenza Virus Vaccine and a Modified Live Equine Herpesvirus Type 1 Vaccine in Thoroughbred Racehorses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2020, vol. 94. DOI: 10.1016/j.jevs.2020.103221.
6. Ameer K., Chirom A., Raymundo R. R.C., Alberto B.P. Equine Herpesvirus-I Infection in Horses: Recent Updates on its Pathogenicity, Vaccination, and Preventive Management Strategies. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2020, vol. 87, pp. 102923. DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102923.
7. Laval K., Poelaert K.C.K., Van Cleemput J., Zhao J., Vandekerckhove A.P., Gryspeerdt A.C., Garré B., vander Meulen K., Baghi H.B., Dubale H.N., Zarak I., Van Crombrugge E., Nauwynck H.J. The Pathogenesis and Immune Evasive Mechanisms of Equine Herpesvirus Type 1. *Frontiers in Microbiology*, 2021, vol. 12, pp. 662–686. DOI: 10.3389/fmicb.2021.662686.
8. Kim J.W., Jung J.Y., Lee K., Lee H., Kim H.Y., Yoon S.S., So B.J., Choi E. A case of Streptococcus equi subspecies zooepidemicus infection in a thoroughbred horse. *Comparative Pathology*, 2018, vol. 158, p. 137. DOI: 10.1016/j.jcpa.2017.10.133.
9. Tscheschlok I., Venner M., Steward R., Böse R., Riihimäki M., Pringle J. Decreased Clinical Severity of Strangles in Weanlings Associated with Restricted Seroconversion to Optimized Streptococcus equi ssp equi Assays. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 2018, vol. 32 (1), pp. 459–464. DOI: 10.1111/jvim.15037.
10. Boyle A.G., Mitchel C., Stefanovski D., Waller A.S. Horses vaccinated with live attenuated intranasal strangles vaccine seroconvert to SEQ2190 and SeM. *Equine Veterinary Journal*, 2021, vol. 54 (2), pp. 299–305. DOI: 10.1111/evj.13443.
11. Pringle J., Storm E., Waller A., Riihimäki M. Influence of penicillin treatment of horses with strangles on seropositivity to Streptococcus equi ssp. equi-specific antibodies. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 2020, vol. 34 (1), pp. 294–299. DOI: 10.1111/jvim.15668.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Донченко А.С., академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель научного направления

Тарабукина Н.П., доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая лабораторией; e-mail: hotubact@mail.ru

✉ **Неустроев М.П.**, доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 677001, г. Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1; e-mail: mnueyc@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Alexandr S. Donchenko, Academician RAS, Head Researcher, Head of Research Group

Nadezhda P. Tarabukina, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Professor, Laboratory Head; e-mail: hotubact@mail.ru

✉ **Mikhail P. Neustroev**, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Professor, Laboratory Head; **address:** 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo St., Yakutsk, 677001, Russia; e-mail: mnueyc@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.01.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 02.02.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023

МИРОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СВИНОВОДСТВА

(✉) Колосова М.А.¹, Романец Е.А.¹, Колосов А.Ю.¹, Гетманцева Л.В.²

¹Донской государственный аграрный университет

Ростовская область, Россия

²Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью
Федерального медико-биологического агентства

Москва, Россия

(✉) e-mail: m.leonovaa@mail.ru

Представлен обзор основных мировых достижений редактирования генома свиней с использованием системы CRISPR/Cas9, в частности модификации генов (MSTN, IGF2, ZBED6, UCP1, LGALS12, APOE, vWF), для повышения продуктивных характеристик и хозяйственно полезных свойств, а также генов устойчивости животных к заболеваниям (APN, CD163, SRCR5, RSAD2). Большой интерес представляет изучение опыта применения этого инновационного инструмента для получения свиней с заданными признаками. Развитие молекулярно-генетических исследований, открытие взаимосвязей ген – фенотип обеспечило платформу, необходимую для модификации конкретных генов, чтобы значительно сократить репродуктивные циклы и повысить эффективность разведения свиней. Появившаяся относительно недавно система CRISPR/Cas9 уже нашла применение во многих передовых областях исследований, однако в задачах развития свиноводства, в том числе за счет получения трансгенных пород свиней, применение этой технологии ограничено. Это связано с тем, что существуют этические вопросы и проблемы нормативно-правового урегулирования, связанные с генно-отредактированными продуктами и потенциальными нецелевыми эффектами CRISPR/Cas9, которые необходимо исследовать. Технология геномного редактирования активно развивается в мире. В России реализуется программа развития генетических технологий, рассчитанная на 2019–2027 гг. Основная цель программы состоит в комплексном решении задач ускоренного развития генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования. Получение результатов посредством геномного редактирования линий сельскохозяйственных животных с новыми улучшенными свойствами – один из целевых индикаторов программы. С использованием CRISPR/Cas9 могут быть улучшены такие продуктивные характеристики свиней, как устойчивость к болезням, терморегуляция, повышение выхода и качества мяса.

Ключевые слова: CRISPR/Cas9, редактирование генома, ген, мутация, свиньи

GLOBAL ADVANCES IN GENOMIC EDITING IN PIG BREEDING

(✉) Kolosova M.A.¹, Romanets E.A.¹, Kolosov A. Yu.¹, Getmantseva L.V.²

¹Don State Agrarian University

Rostov region, Russia

²Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency

Moscow, Russia

(✉) e-mail: m.leonovaa@mail.ru

An overview of the main world advances in editing the pig genome using the CRISPR/Cas9 system, in particular the modification of the genes (MSTN, IGF2, ZBED6, UCP1, LGALS12, APOE, vWF) to improve productivity and economic properties as well as the disease resistance genes (APN, CD163, SRCR5, RSAD2) in pigs is presented. It is of great interest to study the experience of using this innovative tool to produce pigs with specified traits. The development of molecular genetic research and the discovery of gene-phenotype relationships has provided the platform needed to modify specific genes to significantly shorten the reproductive cycles and improve the efficiency of pig breeding. The relatively recent CRISPR/Cas9 system has already found use in many advanced fields of research, but its application is limited in the challenges of pig breeding, including the production of transgenic pigs. It is due to the fact that there are ethical and regulatory issues associated with genetically-edited

products and the potential non-target effects of CRISPR/Cas9 that need to be investigated. Genomic editing technology is actively developing worldwide. Russia is implementing the 2019-2027 genetic technology development program. The main goal of the program is to comprehensively address the problems of accelerated development of genetic technologies, including genetic editing technologies. Obtaining results through genomic editing of farm animal lines with new, improved properties is one of the program's target indicators. CRISPR/Cas9 can be used to improve pig performance characteristics such as resistance to disease, thermoregulation, improved meat yield and quality.

Keywords: CRISPR/Cas9, genome editing, gene, mutation, pigs

Для цитирования: Колосова М.А., Романец Е.А., Колосов А.Ю., Гетманцева Л.В. Мировые достижения геномного редактирования в области свиноводства // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 51–58. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-6>

For citation: Kolossova M.A., Romanets E.A., Kolosov A.Yu., Getmantseva L.V. Global advances in genomic editing in pig breeding. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 51–58. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-6>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

С помощью селекционного разведения люди выводят породы свиней, обладающие полезными характеристиками для сельского хозяйства, хотя традиционный отбор – длительный процесс. Однако теперь его можно ускорить за счет генетической модификации, включая случайный трансгенез, нокауты и нокины генов [1, 2]. Повышение признаков продуктивности и качества получаемой продукции способствует эффективному развитию свиноводства. Однако наряду с этим большие проблемы связаны с устойчивостью свиней к заболеваниям. Коммерческое свиноводство понесло огромные экономические потери из-за различных заболеваний, таких как африканская чума свиней, классическая чума свиней, репродуктивно-респираторный синдром свиней и др. Современные молекулярно-генетические технологии позволяют выявлять локальные причины, вносящие значительный вклад в развитие признаков здоровья и продуктивности сельскохозяйственных животных. Одним из подходов дальнейшего применения этих данных является локальное изменение на уровне ДНК – редактирование генома. Способность генерировать специфичные изменения в геноме позволяет исследователям задавать фундаментальные вопросы о функции генов, перемещать аллельные варианты между породами или видами или создавать новые фенотипы. В настоящее время достижения в этой

области демонстрируют хорошие результаты, связанные с повышением признаков продуктивности [3]. Помимо этого, считается, что редактирование генома – одно из действенных решений для сдерживания инфекционных заболеваний и уменьшения сильной зависимости от фармацевтических препаратов для лечения свиней [4, 5].

Цель статьи – провести обзор основных мировых достижений редактирования генома свиней с использованием системы CRISPR/Cas9.

CRISPR/Cas9 – компонент адаптивного иммунитета бактерий против фагов и других инвазивных нуклеиновых кислот. Система CRISPR/Cas, управляемая РНК, состоит из массива повтор-спейсер CRISPR и нуклеазы Cas, которая расщепляет чужеродную вирусную ДНК. Cas9 нуклеаза вместе с одной направляющей РНК (sgRNA) индуцирует целевые и эффективные двухцепочечные разрывы (DSBs) в ДНК. CRISPR/Cas9 относительно недорогая система и предоставляет средства для широкого применения в различных областях благодаря своей простоте и эффективности [6]. Клетки млекопитающих впервые подвергнуты редактированию генов с использованием CRISPR/Cas9 в 2013 г., в 2014 г. технология применена к свиньям. С тех пор CRISPR/Cas9 нашла применение в исследованиях в области животноводства, в том числе у свиней [7].

Модификация конкретных генов для повышения продуктивных характеристик и хозяйственно полезных свойств свиней. Спрос на высококачественную нежирную свинину растет во всем мире. Система CRISPR/Cas9 служит ценным инструментом для улучшения качества свинины с помощью генных манипуляций, направленных на увеличение мышечной массы и уменьшение жировой ткани у коммерческих свиней. Одним из достижений в молекулярной селекции стали свиньи с нокаутом по гену миостатину (MSTN). Ген MSTN – ингибитор развития скелетных мышц, что делает его подходящей мишенью для увеличения мышечной массы домашнего скота. Многочисленные исследования документально подтвердили увеличение мышечной массы при уменьшении жировой ткани у свиней с нокаутом гена MSTN, что позволило получить качественную нежирную свинину. Однако проблемой, проявляющейся у свиней европейских коммерческих пород с нокаутом по гену MSTN, стала низкая выживаемость поросят после рождения. Напротив, свиньи китайских пород, несущие гомозиготные мутации гена MSTN, демонстрировали хорошую выживаемость. Вторым препятствием на пути создания трансгенных свиней с дефицитом гена MSTN были биологические риски, связанные с генами селективируемых маркеров, такими как ген зеленого флуоресцентного белка (EGFP). Китайские ученые предположили, что модификация некодирующих областей гена MSTN полезна для стимулирования развития мышечной массы без значительного воздействия на экспрессию гена MSTN и связанных с ним биологических функций [8].

Ген инсулиноподобного фактора роста 2 (IGF2) успешно используется в качестве регулятора развития мышц у свиней китайских пород [9, 10]. Ген активирует каскад сигнальных путей, регулирующих клеточную пролиферацию, дифференцировку и апоптоз как при внутриутробном, так и постнатальном росте. Транскрипция и экспрессия гена IGF2 подавляется геном белка 6, содержащего домен BED с цинковыми пальцами (ZBED6). ZBED6 представляет собой фактор транскрипции у млекопитающих, который может комбинироваться с геном IGF2, повышая уровень его экспрессии,

тем самым уменьшая отложение подкожного жира [11]. Показано, что этот фактор транскрипции тесно связан с ростом и развитием мышц и может ингибировать образование мышечных трубок в процессе дифференцировки клеток на клеточном уровне. Xiang G. et al. [9] впервые продемонстрировали улучшение экономических характеристик домашнего скота за счет генетической модификации некодирующих областей в геноме. Мутации в интроне гена IGF2 значительно улучшили мясную продуктивность свиней породы бама [10].

Свиньи подвержены различным заболеваниям в холодное время года. В процессе эволюции эти животные практически утратили ключевой элемент неподвижного термогенеза – белок термогенин (UCP1). Исследования на грызунах показали, что у мышей есть белок UCP1, и они используют бурый жир для поддержания внутренней температуры тела посредством неподвижного термогенеза [12]. Группа китайских ученых во главе с Q. Zheng показала возможность создания нокаута по гену UCP1 свиней посредством CRISPR/Cas9-опосредованной вставки UCP1 мыши в эндогенный локус свиньи [13]. Скрещивание полученного таким образом самца с самками дикого типа подтвердило правило менделевской сегрегации трансгенов среди потомства F_1 , а также показало отсутствие влияния элементов системы CRISPR/Cas9 на фертильность. У полученных свиней отмечали улучшенную терморегуляцию и снижение объемов отложения белой жировой ткани, что в некоторых государствах является приоритетным направлением свиноводческих программ. Также сообщается, что в общей сложности 2553 клонированных эмбриона перенесены в яйцеводы 13 суррогатных реципиентов. Установлены три беременности, которые достигли срока. Двенадцать поросят-самцов родились естественным путем из трех пометов [14].

Жировая ткань выполняет различные физиологические функции, в том числе запасает избыточную энергию в виде жира, защищает внутренние органы от физического воздействия, сохраняет тепло и секретирует адипокины. Благодаря высокоразвитой жировой ткани свиньи считаются идеальной моделью для изучения адипогенеза. Группой ученых пред-

ставлены новые сведения об отложении жира и промоторного элемента, специфичного для жировой ткани генетически модифицированных свиней. Ген галектин 12 (LGALS12) показал самую высокую специфичность в отношении жировой ткани свиньи. Однако в литературе почти не встречается сведений о свином гене LGALS12. Согласно биоинформационному анализу, клонированы пять укороченных фрагментов промотора LGALS12. Фрагмент размером 4 т.п.н. (L-4 т.п.н.) проявлял промоторную активность, специфичную для жировой ткани. В этих исследованиях показано, что L-4 т.п.н. может управлять экспрессией гена аполипопротеина E (APOE), чтобы выполнять свою функцию в адипоцитах. Эти данные подтверждают идею о том, что LGALS12 является геном-кандидатом для генетического улучшения признаков, связанных с ожирением у свиней [15].

Китайские ученые применили технологию CRISPR/Cas9 для создания нокаутированных свиней по гену фактора Виллебранда (vWF), мутация которого у человека вызывает болезнь Виллебранда, сопровождающуюся спонтанными кровотечениями. Для придания свиньям хозяйственно полезного свойства, заключающегося в активном обескровливании животного после убоя, авторы внедрили генетические конструкции методом цитоплазматической инъекции мРНК CAS9 и shРНК (малая шпилечная РНК) в зиготы с последующей трансплантацией суррогатным свиноматкам, что привело к возникновению целевой делеции на участке гена vWF у 62% родившихся поросят. С точки зрения создания модели крупного животного для исследования генетических заболеваний человека, данное исследование полезно и может иметь перспективы. Однако с точки зрения продовольственной безопасности, возникает проблема: из 76 инъектированных пяти суррогатным свиноматкам эмбрионов лишь у трех супоросность прошла успешно. Родились всего 16 поросят (2 из них погибли после рождения), лишь у 10 подтверждена хозяйственно ценная делеция в гене [15]. При этом стоит учесть, что полученные животные, по всей видимости, требовали особого ухода, что повлечет увеличение затрат на их содержание, поставив под сомнение рентабельность полученного полезного качества.

Модификация конкретных генов для повышения устойчивости свиней к инфекционным заболеваниям. Подверженность инфекционным заболеваниям животных – одна из самых серьезных проблем в животноводстве. Многие вирусные инфекции связаны со вторичными бактериальными инфекциями, что в значительной степени способствует использованию противомикробных препаратов в сельском хозяйстве. Использование CRISPR/Cas9 имеет огромное значение для получения свиней, устойчивых к коронавирусам. Коронавирусы – вирусы с одноцепочечной РНК, распространены во всем мире. К ним относятся такие вирусы, как трансмиссивный гастроэнтерит (TGEV), вирус эпидемической диареи свиней (PEDV) и коронавирус дельты свиней (PDCoV) [16]. Эти коронавирусы вызывают огромные потери в свиноводстве, поскольку они связаны со смертностью поросят-сосунков из-за мальабсорбтивной диареи и обезвоживания. Исследования с использованием CRISPR/Cas9 подтвердили, что аминопептидаза белок N (APN), который присутствует на поверхности ворсинок кишечника, является основным рецептором для установления инфекции трансмиссивного гастроэнтерита у свиней. Новорожденные поросята с дефицитом белка APN устойчивы к инфекции TGEV. Однако дефицит APN не обеспечивает защиты от инфекции PEDV [17]. Следовательно, существует острая потребность в идентификации распознающего рецептора для PEDV.

Один из важнейших рецепторов для инфицирования свинным вирусом репродуктивного и респираторного синдрома (PPCC) – кластер дифференцировки антигена 163 (CD163). Белок CD163 выполняет ряд важных биологических функций, включая рециркуляцию гемоглобина/гаптоглобина. CD163 представляет девять внеклеточных доменов на поверхности моноцитов и макрофагов, при этом вирус специфически взаимодействует с доменом номер пять. Путем удаления экзона 7, который кодирует весь пятый домен, оказалось возможным получить отредактированных свиней, экспрессирующих модифицированный белок CD163, сохраняющий эти функции. Свиньи с нокаутом гена CD163 оказались устойчивыми к вирусу PPCC [18]. Однако вирус PPCC имеет

две формы: PPCC-1 (европейский) и PPCC-2 (азиатский). Вирусы PPCC-1 и PPCC-2 CD163 используют разные сайты CD163, поэтому необходимо проведение дополнительных исследований.

Исследователи стремятся вывести свиней, обладающих множественной устойчивостью к вирусным патогенам. Oh J. et al. [19] разработали стратегию множественной резистентности для ящура и PPCC с использованием CRISPR/Cas9-опосредованной делеции гена CD163 и интеграции малой шпилечной shP-НК в фибробласты свиней. Интегрированная shPНК нацелена на гены вируса ящура и вируса PPCC. Однако свиней с двойной устойчивостью к вирусу ящура и вирусу PPCC еще предстоит тестировать, поскольку необходимы дальнейшие исследования *in vivo*.

Guo C. et al. [20] произвели точечное удаление фрагмента из 41 аминокислоты, содержащей липополисахаридсвязывающий белок (LBP) в фагоцитарном рецепторе участка, насыщенного цистеином 5 (SRCR5) CD163, у двух пород свиней (малая пятнистая лян-гуанская и крупная белая свиньи). Затем свиней крупной белой породы с измененными генами в поколении F_0 использовали для заражения вирусом. Эти свиньи с отредактированным геномом были устойчивы к вирусу репродуктивно-респираторного синдрома свиней 2 (PRRSV 2).

Классическая чума свиней (КЧС) – вирусная болезнь свиней, характеризующаяся лихорадкой, поражением кровеносных сосудов и кроветворных органов, крупозно-дифтеритическим воспалением слизистой оболочки толстых кишок. Она наносит громадный экономический ущерб хозяйствам: летальность составляет 80–100%. Вирус КЧС индуцирует иммуносупрессию, предрасполагая домашних и диких кабанов к вторичным оппортунистическим инфекциям желудочно-кишечной и дыхательной системы. Использование CRISPR/Cas9 в сочетании с РНК-интерференцией привели к получению трансгенных свиней, устойчивых к вирусу КЧС. Через CRISPR/Cas9 стратегией нокина, малой шпилечной противовирусной shPНК был вставлен в локус Rosa26 свиньи для деградации РНК вируса классической чумы свиней. Результаты заражения у

этих свиней показали значительное снижение репликации КЧС, клинических симптомов, смертности и передачи резистентности к КЧС пороссятам первого поколения [21]. Радикал S-аденозилметиониновый домен, содержащий белок 2 (RSAD2), представляет собой клеточный белок, проявляющий широкую противовирусную активность в отношении ДНК- и РНК-вирусов. Из-за широкой противовирусной активности, проявляемой геном RSAD2, он считался потенциальным кандидатом на нокин CRISPR/Cas9 для разработки устойчивых к вирусу трансгенных свиней. Специфическое введение гена RSAD2 в свином локусе ROSA26 позволило получить трансгенных свиней, у которых отмечено снижение вируса КЧС и вируса псевдобешенства (PRV) при заражении [21]. Следовательно, использование нескольких критических генов может способствовать появлению мультирезистентных свиней. Однако ограниченное знание взаимодействия этих генов с рецепторами при многих вирусных заболеваниях может частично препятствовать широкому распространению данной стратегии.

Рассмотрение нецелевых эффектов. Нецелевой эффект, который представляет собой непреднамеренные изменения ДНК в нецелевые сайты генов, вызывает основную проблему для CRISPR/Cas9 – опосредованное образование генро-модифицированных объектов (ГМО). Нежелательные изменения могут повлиять не только на фенотип родительского животного, но и на фенотип последующих поколений. Нецелевые эффекты можно оценить путем секвенирования генома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

CRISPR/Cas9 вызывает значительный общественный интерес у мирового сообщества, но есть и противоположные мнения, которые, вероятно, будут существенно различаться в зависимости от социальных точек зрения, включая достаток, возраст, религию людей. От этого зависит развитие и скорость внедрения данных разработок в сельское хозяйство отдельных государств. В настоящее время лидером в разработке геномного редактирования в области свиноводства является Китай. В России реализуется программа развития генетических

технологий, рассчитанная на 2019–2027 гг. Основная цель программы состоит в комплексном решении задач ускоренного развития генетических технологий, в том числе технологий генетического редактирования. В ближайшем будущем стоит ожидать появления перспективных российских разработок по геномному редактированию разных видов сельскохозяйственных животных, в том числе и свиней. Следует признать, что редактирование генов может вызвать и неожиданные побочные эффекты. В связи с этим исследователи должны четко планировать свои эксперименты. Однако в целом система CRISPR/Cas9 совершенствуется, становится более доступной для использования, открывает неограниченные возможности и перспективы для более широкого применения в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларкина Т.А., Крутикова А.А., Козицова Л.В. Редактирование генома сельскохозяйственных животных с помощью технологии CRISPR/Cas9 // Молочнохозяйственный вестник. 2018. № 3 (31). С. 24–35. DOI: 10.24411/2225-4269-2018-00018.
2. Яковлев А.Ф. Редактирование генома сельскохозяйственных животных // Генетика и разведение животных. 2018. № 2. С. 4–12.
3. Zhang J., Khazalwa E.M., Abkhallo H.M., Zhou Y., Nie X., Ruan J., Zhao C., Wang J., Xu J., Li X., Zhao S., Zuo E., Steinaa L., Xie S. The advancements, challenges, and future implications of the CRISPR/Cas9 system in swine research // Journal of Genetics and Genomics. 2021. Vol. 48 (5). P. 347–360. DOI: 10.1016/j.jgg.2021.03.015.
4. Sharma V., Kaushik S., Kumar R., Yadav J.P., Kaushik S. Emerging trends of Nipah virus: A review // Reviews in medical virology. 2019. Vol. 29 (1). P. e2010. DOI: 10.1002/rmv.2010.
5. Choe Y.J., Jee Y., Takashima Y., Lee J.K. Japanese encephalitis in the Western Pacific region: implication from the Republic of Korea // Vaccine. 2020. Vol. 38 (13). P. 2760–2763. DOI: 10.1016/j.vaccine.2020.02.061.
6. Chen S.J. Minimizing off-target effects in CRISPR-Cas9 genome editing // Cell biology and toxicology. 2019. Vol. 35 (5). P. 399–401. DOI: 10.1007/s10565-019-09486-4.
7. Knott G.J., Doudna J.A. CRISPR-Cas guides the future of genetic engineering // Science. 2018. Vol. 361 (6405). P. 866–869. DOI: 10.1126/science.aat5011.
8. Liu J., Pan M., Huang D., Guo Y., Yang M., Zhang W., Mai K. Myostatin-1 inhibits cell proliferation by inhibiting the mTOR signal pathway and MRFs, and activating the ubiquitin-proteasomal system in skeletal muscle cells of Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus* // Cells. 2020. Vol. 9 (11). P. 2376. DOI: 10.3390/cells9112376.
9. Xiang G., Ren J., Hai T., Fu R., Yu D., Wang J., Li W., Wang H., Zhou Q. Editing porcine IGF2 regulatory element improved meat production in Chinese Bama pigs // Cellular and Molecular Life Sciences. 2018. Vol. 75. P. 4619–4628. DOI: 10.1007/s00018-018-2917-6.
10. Liu X., Liu H., Wang M., Li R., Zeng J., Mo D., Cong P., Liu X., Chen Y., He Z. Disruption of the ZBED6 binding site in intron 3 of IGF2 by CRISPR/Cas9 leads to enhanced muscle development in Liang Guang Small Spotted pigs // Transgenic research. 2019. Vol. 28. P. 141–150. DOI: 10.1007/s11248-018-0107-9.
11. Younis S., Schonke M., Massart J., Hjortebjerg R., Sundstrom E., Gustafson U., Bjornholm M., Krook A., Frystyk J., Zierath J.R. The ZBED6-IGF2 axis has a major effect on growth of skeletal muscle and internal organs in placental mammals // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. Vol. 115 (9). P. E2048–E2057. DOI: 10.1073/pnas.1719278115.
12. Wang D., Pan D., Xie B., Wang S., Xing X., Liu X., Ma Y., Andersson L., Wu J., Jiang L. Porcine ZBED6 regulates growth of skeletal muscle and internal organs via multiple targets // PLoS Genetics. 2021. Vol. 17 (10). P. e1009862. DOI: 10.1371/journal.pgen.1009862.
13. Roesler A., Kazak L. UCP1-independent thermogenesis // Biochemical Journal. 2020. Vol. 477 (3). P. 709–725. DOI: 10.1042/BCJ20190463.
14. Pan J., Tao C., Cao C., Zheng Q., Lam S.M., Shui G., Liu X., Li K., Zhao J., Wang Y. Adipose lipidomics and RNA-Seq analysis revealed the enhanced mitochondrial function in UCP1 knock-in pigs // Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids. 2019. Vol. 1864 (10). P. 1375–1383. DOI: 10.1016/j.bbalip.2019.06.017.
15. Zhang D., Shen L., Wu W., Liu K., Zhang J. Cloning and functional verification of a porcine adipose tissue-specific promoter // BMC genomics. 2022. Vol. 23 (1). P. 1–9. DOI: 10.1186/s12864-022-08627-0.
16. Stoian A., Rowland R.R., Petrovan V., Shea-

- han M., Samuel M.S., Whitworth M.K., Wells D.K., Zhang J., Beaton B., Cigan M., Prather S.R. The use of cells from ANPEP knockout pigs to evaluate the role of aminopeptidase N (APN) as a receptor for porcine deltacoronavirus (PDCoV) // *Virology*. 2020. Vol. 541. P. 136–140. DOI: 10.1016/j.virol.2019.12.007.
17. Luo L., Wang S., Zhu L., Fan B., Liu T., Wang L., Zhao P., Dang Y., Sun P., Chen J., Zhang Y., Chang X., Yu Z., Wang H., Guo R., Li B., Zhang K. Aminopeptidase N-null neonatal piglets are protected from transmissible gastroenteritis virus but not porcine epidemic diarrhea virus // *Scientific reports*. 2019. Vol. 9 (1). P. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-019-49838-y.
18. Wang H., Shen L., Chen J., Liu X., Tan T., Hu Y., Bai X., Li Y., Tian K., Li N., Hu X. Deletion of CD163 exon 7 confers resistance to highly pathogenic porcine reproductive and respiratory viruses on pigs // *International Journal of Biological Sciences*. 2019. Vol. 15 (9). P. 1993. DOI: 10.7150/ijbs.34269.
19. Oh J., Choi K., Lee C. Multi-resistance strategy for viral diseases and in vitro short hairpin RNA verification method in pigs // *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 2018. Vol. 31 (4). P. 489. DOI: 10.5713/ajas.17.0749.
20. Guo C., Wang M., Zhu Z., He S., Liu H., Liu X., Shi X., Tang T., Yu P., Zeng J., Yang L., Cao Y., Chen Y., Liu X., He Z. Highly efficient generation of pigs harboring a partial deletion of the CD163 SRCR5 domain, which are fully resistant to porcine reproductive and respiratory syndrome virus 2 infection // *Frontiers in immunology*. 2019. Vol. 10. P. 1846. DOI: 10.3389/fimmu.2019.01846.
21. Xie Z., Jiao H., Xiao H., Jiang Y., Liu Z., Qi C., Zhao D., Jiao S., Yu T., Tang X., Pang D., Ouyang H. Generation of pRSAD2 gene knock-in pig via CRISPR/Cas9 technology // *Antiviral Research*. 2020. Vol. 174. P. 104696. DOI: 10.1016/j.antiviral.2019.104696.
- Genetics and breeding of animals*, 2018, no. 2, pp. 4–12. (In Russian).
3. Zhang J., Khazalwa E.M., Abkallo H.M., Zhou Y., Nie X., Ruan J., Zhao C., Wang J., Xu J., Li X., Zhao S., Zuo E., Steinaa L., Xie S. The advancements, challenges, and future implications of the CRISPR/Cas9 system in swine research. *Journal of Genetics and Genomics*, 2021, vol. 48 (5), pp. 347–360. DOI: 10.1016/j.jgg.2021.03.015.
4. Sharma V., Kaushik S., Kumar R., Yadav J.P., Kaushik S. Emerging trends of Nipah virus: A review. *Reviews in medical virology*, 2019, vol. 29 (1), p. e2010. DOI: 10.1002/rmv.2010.
5. Choe Y.J., Jee Y., Takashima Y., Lee J.K. Japanese encephalitis in the Western Pacific region: implication from the Republic of Korea. *Vaccine*, 2020, vol. 38 (13), pp. 2760–2763. DOI: 10.1016/j.vaccine.2020.02.061.
6. Chen S.J. Minimizing off-target effects in CRISPR-Cas9 genome editing. *Cell biology and toxicology*, 2019, vol. 35 (5), pp. 399–401. DOI: 10.1007/s10565-019-09486-4.
7. Knott G.J., Doudna J.A. CRISPR-Cas guides the future of genetic engineering. *Science*, 2018, vol. 361 (6405), pp. 866–869. DOI: 10.1126/science.aat5011.
8. Liu J., Pan M., Huang D., Guo Y., Yang M., Zhang W., Mai K. Myostatin-1 inhibits cell proliferation by inhibiting the mTOR signal pathway and MRFs, and activating the ubiquitin-proteasomal system in skeletal muscle cells of Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus*. *Cells*, 2020, vol. 9 (11), p. 2376. DOI: 10.3390/cells9112376.
9. Xiang G., Ren J., Hai T., Fu R., Yu D., Wang J., Li W., Wang H., Zhou Q. Editing porcine IGF2 regulatory element improved meat production in Chinese Bama pigs. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2018, vol. 75, pp. 4619–4628. DOI: 10.1007/s00018-018-2917-6.
10. Liu X., Liu H., Wang M., Li R., Zeng J., Mo D., Cong P., Liu X., Chen Y., He Z. Disruption of the ZBED6 binding site in intron 3 of IGF2 by CRISPR/Cas9 leads to enhanced muscle development in Liang Guang Small Spotted pigs. *Transgenic research*, 2019, vol. 28, pp. 141–150. DOI: 10.1007/s11248-018-0107-9.
11. Younis S., Schonke M., Massart J., Hjortebjerg R., Sundstrom E., Gustafson U., Bjornholm M., Krook A., Frystyk J., Zierath J.R. The ZBED6-IGF2 axis has a major effect on growth of skeletal muscle and internal organs in placental mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, vol. 115 (9), pp. E2048–E2057.

REFERENCES

1. Larkina T.A., Krutikova A.A., Kozikova L.V. Editing the genome of farm animals using CRISPR/Cas9 technology. *Molochnokhozyaistvennyi vestnik = Dairy Bulletin*, 2018, no. 3 (31), pp. 24–35. (In Russian). DOI: 10.24411/2225-4269-2018-00018.
2. Yakovlev A.F. The genome editing of agricultural animals. *Genetika i razvedenie zhivotnykh =*

- DOI: 10.1073/pnas.1719278115.
12. Wang D., Pan D., Xie B., Wang S., Xing X., Liu X., Ma Y., Andersson L., Wu J., Jiang L. Porcine ZBED6 regulates growth of skeletal muscle and internal organs via multiple targets. *PLoS Genetics*, 2021, vol. 17 (10), p. e1009862. DOI: 10.1371/journal.pgen.1009862.
 13. Roesler A., Kazak L. UCP1-independent thermogenesis. *Biochemical Journal*, 2020, vol. 477 (3), pp. 709–725. DOI.org/10.1042/BCJ20190463.
 14. Pan J., Tao C., Cao C., Zheng Q., Lam S.M., Shui G., Liu X., Li K., Zhao J., Wang Y. Adipose lipidomics and RNA-Seq analysis revealed the enhanced mitochondrial function in UCP1 knock-in pigs. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 2019, vol. 1864 (10), pp. 1375–1383. DOI: 10.1016/j.bbalip.2019.06.017.
 15. Zhang D., Shen L., Wu W., Liu K., Zhang J. Cloning and functional verification of a porcine adipose tissue-specific promoter. *BMC genomics*, 2022, vol. 23 (1), pp. 1–9. DOI: 10.1186/s12864-022-08627-0.
 16. Stoian A., Rowland R.R., Petrovan V., Sheahan M., Samuel M.S., Whitworth M.K., Wells D.K., Zhang J., Beaton B., Cigan M., Prather S.R. The use of cells from ANPEP knock-out pigs to evaluate the role of aminopeptidase N (APN) as a receptor for porcine deltacoronavirus (PDCoV). *Virology*, 2020, vol. 541, pp. 136–140. DOI: 10.1016/j.virol.2019.12.007.
 17. Luo L., Wang S., Zhu L., Fan B., Liu T., Wang L., Zhao P., Dang Y., Sun P., Chen J., Zhang Y., Chang X., Yu Z., Wang H., Guo R., Li B., Zhang K. Aminopeptidase N-null neonatal piglets are protected from transmissible gastroenteritis virus but not porcine epidemic diarrhea virus. *Scientific reports*, 2019, vol. 9 (1), pp. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-019-49838-y.
 18. Wang H., Shen L., Chen J., Liu X., Tan T., Hu Y., Bai X., Li Y., Tian K., Li N., Hu X. Deletion of CD163 exon 7 confers resistance to highly pathogenic porcine reproductive and respiratory viruses on pigs. *International Journal of Biological Sciences*, 2019, vol. 15 (9), p. 1993. DOI: 10.7150/ijbs.34269.
 19. Oh J., Choi K., Lee C. Multi-resistance strategy for viral diseases and in vitro short hairpin RNA verification method in pigs. *Asian-Australasian journal of animal science*, 2018, vol. 31 (4), p. 489. DOI: 10.5713/ajas.17.0749.
 20. Guo C., Wang M., Zhu Z., He S., Liu H., Liu X., Shi X., Tang T., Yu P., Zeng J., Yang L., Cao Y., Chen Y., Liu X., He Z. Highly efficient generation of pigs harboring a partial deletion of the CD163 SRCR5 domain, which are fully resistant to porcine reproductive and respiratory syndrome virus 2 infection. *Frontiers in immunology*, 2019, vol. 10, p. 1846. DOI: 10.3389/fimmu.2019.01846.
 21. Xie Z., Jiao H., Xiao H., Jiang Y., Liu Z., Qi C., Zhao D., Jiao S., Yu T., Tang X., Pang D., Ouyang H. Generation of pRSAD2 gene knock-in pig via CRISPR/Cas9 technology. *Antiviral Research*, 2020, vol. 174, p. 104696. DOI: 10.1016/j.antiviral.2019.104696.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Колосова М.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, п. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24; e-mail: m.leonovaa@mail.ru

Романец Е.А., аспирант, лаборант-исследователь

Колосов А.Ю., кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник

Гетманцева Л.В., доктор биологических наук, ведущий аналитик

AUTHOR INFORMATION

✉ **Maria A. Kolossova**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 24, Krivoshlykova St., Persianovskiy Village, Rostov Region, 346493, Russia; e-mail: m.leonovaa@mail.ru

Elena A. Romanets, Post-graduate Student, Research Assistant

Anatoly Yu. Kolosov, Candidate of Science in Agriculture, Junior Researcher

Lubov V. Getmantseva, Doctor of Science in Biology, Lead Analyst

Дата поступления статьи / Received by the editors 12.10.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 20.01.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРАСНОГО СТЕПНОГО СКОТА ГЕНОФОНДОМ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

Богатырева И.А.-А.¹, Краснова О.А.², Коник Н.В.³, (✉) Улимбашев М.Б.⁴

¹Северо-Кавказская государственная академия

Черкесск, Россия

²Удмуртский государственный аграрный университет

Ижевск, Россия

³Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
им. Н.И. Вавилова

Саратов, Россия

⁴Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

Михайловск, Россия

(✉) e-mail: murat-ul@yandex.ru

Представлены результаты сравнительной оценки продуктивности, воспроизводительной способности и рентабельности производства молока при использовании коров красной степной породы и помесей разной кровности по голштинской породе красно-пестрой масти. Исследования хозяйственно полезных признаков и рентабельности проводились в 2019–2022 гг. Объектом исследований являлись представительницы красной степной породы (контроль), помеси с 50% (1-я опытная группа) и 75% крови голштинов красно-пестрой масти (2-я опытная группа). По величине удоя установлено превосходство помесных первотелок над сверстницами красной степной породы, которое за 1-ю лактацию составило 605–673 кг ($p > 0,999$), за 2-ю – 714–788 кг ($p > 0,999$), за 3-ю – 817–868 кг ($p > 0,999$). Наибольшим коэффициентом молочности характеризовались голштинские помеси F_1 и F_2 (9,4–9,7 кг), преимущество которых в среднем за все лактации варьировало в пределах 0,9–1,2 кг ($p > 0,95–0,99$). Во все анализируемые сервис-периоды наибольшую оплодотворяемость после первого осеменения демонстрировали животные красной степной породы, в результате чего затраты семени в их случае оказались в среднем на 0,2–0,5 доз ниже, чем у помесей разной кровности по голштинам. Самый высокий коэффициент воспроизводительной способности имели коровы красной степной породы – 0,98–1,01 ед. против 0,85–0,95 ед. у помесей. Анализ оплаты корма молоком свидетельствует о меньших затратах на производство единицы продукции коровами первого и второго поколений, у которых они составили 0,95–0,98 ЭКЕ, что ниже, чем у сверстниц красной степной породы, на 1,11–1,12 ЭКЕ. Более рентабельным оказалось производство молока полукровными помесями – 30,8–32,9% при несущественных различиях между красными степными и высококровными по голштинам особями.

Ключевые слова: коровы, красная степная, голштинская порода, помеси, молочная продуктивность, воспроизводительная способность, рентабельность

IMPROVEMENT OF THE RED STEPPE CATTLE BY THE HOLSTEIN BREED GENE POOL

Bogatyreva I.A.-A.¹, Krasnova O.A.², Konik N.V.³, (✉) Ulimbashev M.B.⁴

¹North Caucasus State Academy

Cherkessk, Russia

²Udmurt State Agricultural University

Izhevsk, Russia

³Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov
Saratov, Russia

⁴North Caucasus Federal Scientific Agrarian Centre

Mikhailovsk, Russia

(✉) e-mail: murat-ul@yandex.ru

The results of the comparative assessment of productivity, reproductive ability and profitability of milk production when using cows of the Red Steppe breed and the crossbreeds of different blood

relationship by the Holstein breed of the Red-and-White color type are presented. The studies of economically useful traits and profitability were conducted in 2019-2022. The objects of the research were representatives of the Red Steppe breed (control), mixtures with 50% (1st experimental group) and 75% of the blood of the Holstein Red-and-White color type (2nd experimental group). The superiority of the crossbred heifers over their herd mates of the Red Steppe breed in terms of milk yield was established: for the 1st lactation it was 605-673 kg ($p > 0.999$), for the 2nd lactation it was 714-788 kg ($p > 0.999$), for the 3rd lactation it was 817-868 kg ($p > 0.999$). The highest coefficient of the milk yield was observed in Holstein F_1 and F_2 crossbreeds (9.4-9.7 kg), whose average advantage during all lactations ranged from 0.9-1.2 kg ($p > 0.95-0.99$). In all analyzed service-periods, the highest fertilization rate after the first insemination was demonstrated by the Red Steppe breed animals; as a result, their semen consumption was on average 0.2-0.5 doses lower than that of the Holstein crossbreeds of different blood relationship. Cows of the Red Steppe breed had the highest reproductive ability coefficient - 0.98-1.01 units vs. 0.85-0.95 units for crossbred cows. The analysis of the feed efficiency shows lower costs per unit production by cows of the first and second generations, in which they were 0.95-0.98 EFU, which is lower than in the Red Steppe breed peers, by 1.11-1.12 EFU. Milk production by half-blooded crossbreeds was more profitable - 30.8-32.9% with no significant differences between the Red Steppe and high-blooded Holstein individuals.

Keywords: cows, Red Steppe, Holstein, crossbreeds, milk productivity, reproductive capacity, profitability

Для цитирования: Богатырева И.А.-А., Краснова О.А., Коник Н.В., Улимбашев М.Б. Совершенствование красного степного скота генофондом голштинской породы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 59–66. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-7>

For citation: Bogatyreva I.A.-A., Krasnova O.A., Konik N.V., Ulimbashev M.B. Improvement of the Red Steppe cattle by the Holstein breed gene pool. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 59–66. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-7>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В южных регионах нашей страны до начала массовой голштинизации российских пород крупного рогатого скота молочного направления красная степная порода была одной из самых распространенных и приспособленных к природно-климатическим, кормовым и технологическим условиям. Несмотря на значительное сокращение удельного веса животных этой породы, в настоящее время продолжается работа по совершенствованию ее племенных и продуктивных качеств с использованием генофонда улучшающих пород – голштинской красно-пестрой масти, англеской и красной датской. Изменение породного состава в сторону увеличения высокопродуктивных стад молочного скота в большинстве случаев привело к снижению продуктивного долголетия и воспроизвод-

ства за счет местных генетических ресурсов, что в конечном счете снизило рентабельность отрасли молочного скотоводства.

Совершенствование красной степной породы, направленное на сочетание высоких удоев с жирно- и белково-молочностью, позволило создать в Западной Сибири кулундинский тип, представители которого по основному отличительному признаку – жирномолочности – превосходят животных материнской породы на 0,37–0,43% [1]. Особи этого типа наряду с высокими удоями характеризуются отличными воспроизводительными функциями: от 100 коров можно получить 86 телят, это на 11 гол. больше, чем от представителей кубанского типа, но ниже уровня сибирского типа – 95 телят от 100 коров¹.

В Ростовской области использование семени быков голштинской красно-пестрой

¹Князева Т., Тюриков В. Экстерьерные особенности типов красной степной породы крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. 2012. № 2. С. 14–16.

и айрширской пород обеспечило у помесей первого поколения прибавку молочной продуктивности по сравнению со сверстницами красной степной породы по 1-й лактации на 449,7–518,1 кг при несущественных различиях по 2-й лактации. Качественные показатели молока также не имели значительных межгрупповых различий [2].

Применение в стаде, состоящем из животных сибирского типа красной степной породы, семени быков-производителей российской и немецкой селекции обеспечило получение дочерей с продолжительностью хозяйственного использования 36,25–38,2 мес, что на 3,0–6,4 мес больше, чем у сверстниц, полученных от быков канадского и датского происхождения. В стадах красной степной породы Омской области лучшие показатели продемонстрировали дочери быков англеской породы – у них период хозяйственного использования был на 0,29–0,50 лактаций больше по сравнению с потомками красной датской и красной шведской пород. Хотя рентабельность дочерей быков красной шведской и красной датской пород оказалась выше на 8,5–10,1% [3].

В Кабардино-Балкарской Республике помесные коровы F_1 , полученные в результате скрещивания маточного поголовья красной степной породы с голштинами красно-пестрой масти, по молочной продуктивности, морфофункциональным свойствам вымени и оплате корма молоком превосходили чистопородных сверстниц красной степной породы. По удою преимущество составило 465 кг, скорости молокоотдачи – 3,6%, затратам кормов на производство 1 кг молока – 0,15 ЭКЕ (энергетических кормовых единиц) [4].

Оценка быков-производителей по качеству потомства (сравнение продуктивности дочерей с матерями и со сверстницами) показала нецелесообразность использования чистопородных быков-голландинов красно-пестрой масти для совершенствования отечественной красной степной породы в хозяйствах со средним удоем по стаду до 5000 кг на корову

в год. Применение генофонда быков-производителей англеской породы, за исключением Дакса 21699, также не представляет селекционного интереса ни по продуктивным качествам, ни по типу телосложения потомства. Использование помесных быков-производителей красно-пестрой голландской породы оказалось более эффективным приемом [5].

Наиболее подходящими для разведения в условиях равнинной зоны Кабардино-Балкарской Республики являются трехпородные помеси, полученные в результате скрещивания полукровных голландинов-красных степных коров с быками англеской породы. Превосходство таких коров по удою над чистопородными красными степными и полукровками генотипов «красная степная × англеская», «красная степная × красная эстонская» и «красная степная × голландская» составило в среднем 6,6–20,4% [6].

Однократное использование голландинов на маточном поголовье красной степной породы способствовало получению дочерей, превосходящих чистопородных сверстниц красной степной породы по удою за 1-ю лактацию на 568 кг, за 2-ю – на 710 кг при меньшем содержании жира в молоке на 0,05 и 0,04 абс.% соответственно [7].

Об эффективности голландизации красного степного скота при создании надлежащих условий внешней среды свидетельствуют исследования, проведенные в различных регионах нашей страны² [8–10].

Использование быков шведской красной породы в стадах красного степного скота позволило увеличить удой у их дочерей по сравнению со сверстницами от производителей красной датской и англеской пород на 219 и 569 кг соответственно, повысить содержание жира в молоке на 0,03 и 0,25 абс.%, белка – на 0,07 и 0,25 абс.%, улучшить репродуктивные функции и здоровье вымени, что положительно отразилось на рентабельности молочного скотоводства [11].

Необходимость проведения отбора и соответствующего подбора по производственным

²Улимбашев М.Б. Особенности голландизированного красного степного скота Кабардино-Балкарии // Аграрная Россия. 2010. № 3. С. 23–24.

типам коров с целью увеличения хозяйственно полезных признаков красного степного скота отмечают многие отечественные ученые, однако по красной степной породе такие исследования крайне ограничены^{3,4} [12].

Изучение возможности дальнейшего увеличения объемов производимого молока в условиях юга нашей страны актуально и имеет большое народно-хозяйственное значение.

Впервые в Кабардино-Балкарской Республике в рамках промышленного производства получены сравнительные данные по хозяйственно полезным признакам и эффективности производства молока при использовании красного степного и голштинизированного скота разных поколений.

Цель исследования – сравнительная оценка показателей продуктивности, воспроизводительной способности и рентабельности производства молока при использовании коров красной степной породы и помесей разной кровности по голштинской породе красно-пестрой масти.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучение хозяйственно полезных признаков и рентабельности производства молока проводилось в 2019–2022 гг. Объектом исследований являлись коровы красной степной породы (контроль), помеси с 50% (1-я опытная группа) и 75% (2-я опытная группа) крови голштинов красно-пестрой масти. Формирование подопытных групп первотелок осуществлялось с учетом происхождения, возраста, живой массы и физиологического состояния животных. В каждую группу входило по 30 гол.

Все группы находились в одинаковых условиях ухода, содержания и кормообеспеченности. Структура рациона подопытного поголовья в зимний период была следующей: грубые корма – 18%, сенаж – 22, силос – 25, концентрированные корма – 35%. Технология содержания дойного стада – стойлово-паст-

бищная. В пастбищный период содержания применялся зеленый конвейер с использованием присельских пастбищ.

Доеение коров осуществляли в молокопровод с помощью установки АДМ-8, контрольное доение проводили 1 раз в месяц. Качественные показатели молока определяли с помощью анализатора «Лактан 1-4М». Выход молочной продукции (молочного белка и молочного жира) и коэффициент молочности рассчитывали по общепринятым в зоотехнической практике формулам. Живую массу животных определяли по таблице Клювера–Штрауха, для чего брались следующие промеры тела: обхват груди за лопатками и косая длина туловища.

Воспроизводительную способность подопытного поголовья изучали на основе материалов зоотехнического и ветеринарного учета по таким показателям, как оплодотворяемость после осеменения, кратность осеменения, продолжительность сервис- и межотельного периодов. Коэффициент воспроизводительной способности рассчитывали как отношение дней в календарном году к продолжительности межотельного интервала.

Объем съеденного корма устанавливали в составе группы по разнице между количеством заданных кормов и несъеденных остатков. Затраты на производство 1 кг молока рассчитывали как отношение удоя к объему потребленного корма.

Биометрическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики, достоверность межгрупповых различий по анализируемым показателям определяли по критерию Стьюдента при трех уровнях достоверности разности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивные качества коров разного генотипа в течение первых трех лактаций представлены в табл. 1.

Установлено превосходство помесных первотелок по величине удоя над сверстни-

³Улимбашев М.Б. Продуктивные и этологические особенности коров разных производственных типов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 5. С. 35–36.

⁴Писаренко А.В. Хозяйственно полезные признаки коров красной степной породы разных конституциональных и производственных типов в условиях сохранения генофонда // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Красноярск, 16–17 мая 2019 г.). Красноярск, 2019. С. 209–213.

Табл. 1. Изменение продуктивных особенностей красного степного скота разного генотипа с возрастом (по данным трех лактаций)

Table 1. Changes in productive characteristics of the Red Steppe cattle of different genotypes with age (based on three lactations)

Лакта- ция	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
<i>Количество коров, гол.</i>			
1-я	30	30	30
2-я	29	27	26
3-я	27	25	23
<i>Удой за 305 дней, кг</i>			
1-я	3856 ± 96	4461 ± 124***	4529 ± 131***
2-я	4079 ± 119	4793 ± 144***	4867 ± 156***
3-я	4345 ± 128	5213 ± 163***	5162 ± 174***
<i>Массовая доля жира, %</i>			
1-я	3,83 ± 0,02	3,74 ± 0,03*	3,71 ± 0,03**
2-я	3,88 ± 0,02	3,77 ± 0,03**	3,73 ± 0,04***
3-я	3,90 ± 0,02	3,78 ± 0,04**	3,75 ± 0,04***
<i>Массовая доля белка, %</i>			
1-я	3,31 ± 0,02	3,23 ± 0,03	3,20 ± 0,03
2-я	3,35 ± 0,02	3,25 ± 0,03	3,21 ± 0,03
3-я	3,35 ± 0,02	3,25 ± 0,03	3,20 ± 0,03
<i>Общий выход молочного жира и молочного белка, кг</i>			
1-я	275,3 ± 6,6	310,9 ± 8,3**	313,0 ± 8,9**
2-я	294,9 ± 8,2	336,5 ± 9,7**	337,8 ± 10,4**
3-я	315,0 ± 8,7	366,5 ± 10,8***	358,7 ± 11,5***
<i>Живая масса на 2–3 мес, кг</i>			
1-я	456,0 ± 3,7	476,0 ± 3,5***	481,0 ± 3,2***
2-я	482,0 ± 4,0	510,0 ± 3,7***	518,0 ± 3,5***
3-я	509,0 ± 4,4	537,0 ± 4,1***	549,0 ± 4,0
<i>Коэффициент молочности</i>			
1-я	8,4 ± 0,20	9,4 ± 0,25**	9,4 ± 0,27**
2-я	8,4 ± 0,24	9,4 ± 0,27**	9,4 ± 0,29**
3-я	8,5 ± 0,23	9,7 ± 0,28**	9,4 ± 0,30*

Примечание. Здесь и в табл. 2:

* $p > 0,95$; ** $p > 0,99$; *** $p > 0,999$.

цами красной степной породы, которое в 1-ю лактацию составило 605–673 кг ($p > 0,999$), во 2-ю – 714–788 кг ($p > 0,999$), в 3-ю – 817–868 кг ($p > 0,999$). Наибольший рост удоя с возрастом (752 кг) наблюдался у полукровных помесей, что, вероятно, связано с эффектом гетерозиса. Увеличение кровности по красно-пестрой голштинской породе до 75% не оказало столь значительного влияния на удой по сравнению с показателями полукровного поголовья. Если удои 3/4-кровных по голштинам помесей за первые две лактации имели тенденцию превосходства над полукровными животными, то в 3-ю – картина обратная.

Независимо от кровности по голштинам помеси обеих групп уступали коровам красной степной породы по содержанию в молоке основных компонентов – жира и белка. Несмотря на это, вследствие значительного превосходства по удою наибольшим выходом молочного жира и белка характеризовались группы голштинизированных коров, чье преимущество по 1-й лактации составило 35,6–37,7 кг ($p > 0,99$), по 2-й – 41,6–42,9 кг ($p > 0,99$), по 3-й – 43,7–51,5 кг ($p > 0,99–0,999$).

В результате расчета соотношения удоя и живой массы установлено, что наибольший коэффициент молочности имели голштинские помеси F_1 и F_2 (9,4–9,7 кг), преимущество которых в среднем за все лактации варьировало в пределах 0,9–1,2 кг ($p > 0,95–0,99$).

Результаты оценки воспроизводительных качеств подопытного поголовья представлены в табл. 2.

Во все анализируемые сервис-периоды наибольшую оплодотворяемость после первого осеменения демонстрировали коровы красной степной породы, в результате чего затраты семени у них оказались в среднем на 0,2–0,5 доз ниже, чем у помесей разной кровности по голштинам.

Более продолжительным периодом от отела до плодотворного осеменения характеризовались помесные животные, у которых он составил более 100 дней и после III отела достигал 127–144 дней, что больше значений, полученных по коровам красной степной породы в среднем на 35–52 дней ($p > 0,999$).

Во все сравниваемые периоды более продолжительным межотельным интервалом отличались коровы 3/4-кровные по голштинам красно-пестрой масти – 392–426 дней, что выше значений особей красной степной породы в среднем на 31, 50 ($p > 0,95$) и 53 дня ($p > 0,95$) соответственно.

В ходе исследования максимальные значения коэффициента воспроизводительной способности зафиксированы у коров красной степной породы – 0,98–1,01 ед. против 0,85–0,95 ед. у помесей.

Об эффективности производства молока коровами красной степной породы разного происхождения можно судить по материа-

Табл. 2. Воспроизводительные качества подопытных групп животных**Table 2.** Reproductive qualities of the experimental groups of animals

Период	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
<i>Оплодотворяемость после первого осеменения, %</i>			
После I отела	66,7	60,0	56,7
После II отела	62,1	55,6	53,8
После III отела	59,3	52,0	47,8
<i>Индекс осеменения, дозы</i>			
После I отела	1,6 ± 0,03	1,8 ± 0,05**	1,9 ± 0,07***
После II отела	1,9 ± 0,04	2,2 ± 0,07***	2,3 ± 0,10***
После III отела	2,2 ± 0,05	2,5 ± 0,09**	2,7 ± 0,12***
<i>Длительность сервис-периода, сут</i>			
После I отела	82,0 ± 2,7	103,0 ± 4,0***	112,0 ± 4,9***
После II отела	85,0 ± 3,0	118,0 ± 5,2***	133,0 ± 6,8***
После III отела	92,0 ± 3,4	127,0 ± 5,5***	144,0 ± 7,4***
<i>Длительность межотельного периода, сут</i>			
Между I и II отелами	361,0 ± 12,1	383,0 ± 15,0	392,0 ± 16,4
Между II и III отелами	365,0 ± 12,8	400,0 ± 16,3	415,0 ± 18,7*
Между III и IV отелами	373,0 ± 14,2	410,0 ± 19,4	426,0 ± 22,0*
<i>Коэффициент воспроизводительной способности</i>			
Между I и II отелами	1,01 ± 0,032	0,95 ± 0,036	0,93 ± 0,038
Между II и III отелами	1,00 ± 0,034	0,91 ± 0,037	0,88 ± 0,039*
Между III и IV отелами	0,98 ± 0,037	0,89 ± 0,040	0,85 ± 0,042*

лам, представленным в табл. 3.

Анализ оплаты корма молоком свидетельствует о меньших затратах на производство единицы продукции коровами первого и второго поколений, у которых они составили 0,95–0,98 ЭКЕ, что ниже значений, полученных по сверстницам красной степной породы, – 1,11–1,12 ЭКЕ.

С учетом фактически произведенных затрат на производство молока и полученной от его реализации выручки наиболее прибыльным оказалась эксплуатация помесей генотипа «1/2 красная степная + 1/2 красно-пестрая голштинская». В этой связи более рентабельным можно считать производство молока полукровными помесями – 30,8–32,9% при несущественных различиях между красными степными и высококровными по голштинам животными. Также следует отметить возрастное снижение значений рентабельности производства молока у всех групп коров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшим увеличением молочной продуктивности и рентабельности производства молока при наименьших затратах кормов характеризуются помеси первого поколения, полученные в результате использования генотипа голштинской породы красно-пестрой масти на маточном поголовье красно-степного скота, тогда как коэффициенты воспроизводительной способности в данном случае находятся практически на одном уровне с представителями красной степной породы и помесями второго поколения. Повышение кровности по голштинам до второго поколения нецелесообразно, так как у этих животных продуктивные качества и эффективность производства молока в сравнении с полукровным поголовьем увеличиваются незначительно, а показатели плодовитости и качественный состав молока намного ниже, чем у чистопородных красных степных и помесей F_1 . Исходя из полученных результатов, эффективным приемом совершенствования стад красной степной породы можно считать использование семени быков голштинской породы красно-пестрой масти для получения помесей первого поколения.

Табл. 3. Эффективность производства молока коровами разного происхождения (по данным трех лактаций)

Table 3. Efficiency of milk production by cows of different origin (based on three lactations)

Лакта-ция	Группа		
	контрольная	1-я опытная	2-я опытная
<i>Удой за 305 дней, кг</i>			
1-я	3856	4461	4529
2-я	4079	4793	4867
3-я	4345	5213	5162
<i>Объем потребления энергетических кормовых единиц</i>			
1-я	4289	4361	4450
2-я	4568	4684	4745
3-я	4872	4950	4936
<i>Затраты энергетических кормовых единиц на производство 1 кг молока</i>			
1-я	1,11	0,98	0,98
2-я	1,12	0,98	0,97
3-я	1,12	0,95	0,95
<i>Себестоимость 1 кг молока, р.</i>			
1-я	20,34	19,20	19,56
2-я	22,53	20,89	21,44
3-я	23,79	22,31	22,58
<i>Производственные затраты, р.</i>			
1-я	78 431,04	85 651,20	88 587,24
2-я	91 899,87	100 125,77	104 348,48
3-я	103 367,55	116 302,03	116 557,96
<i>Стоимость реализации 1 кг молока, р.</i>			
1-я	26	26	26
2-я	28	28	28
3-я	29	29	29
<i>Выручка от реализации молока, р.</i>			
1-я	112 944	127 582	128 492
2-я	130 340	148 792	149 492
3-я	144 536	168 055	165 097
<i>Прибыль (+) / убыток (-), р.</i>			
1-я	34 512,96	41 930,80	39 904,76
2-я	38 440,13	48 666,23	45 143,52
3-я	41 168,45	51 752,97	48 539,04
<i>Рентабельность, %</i>			
1-я	30,5	32,9	31,1
2-я	29,5	32,7	30,2
3-я	28,5	30,8	29,4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Князева Т.А. Красная степная порода скота: результат эффективной селекции // Молочная промышленность. 2013. № 7. С. 14–16.
2. Махаринец Г.Г., Худайбергенев Р.Б. Интенсивная система использования красного степного скота на молочном комплексе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 5 (43). С. 136–139.
3. Курченкова О.Р., Петрова М.Ю., Черни-

гов Ю.В. Влияние быков на повышение эффективности использования коров улучшенных типов красной степной породы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (28). С. 42–47.

4. Гетоков О.О., Шахмурзов М.М., Шевхужев А.Ф., Смакуев Д.Р. Совершенствование скота красной степной породы голштинскими быками в условиях Центрального Предкавказья // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020. № 1 (58). С. 45–52. DOI: 10.34655/bgsha.2020.58.1.007.
5. Гукеев В.М., Тарчокова Т.М., Батырова О.А. Влияние различных вариантов скрещивания красного степного скота на продуктивное долголетие коров // Известия Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. 2017. № 2 (76). С. 123–127.
6. Пазова М.Т., Тлейнишева М.Г., Тарчов Т.Т., Кагермазов Ц.Б. Результативность использования улучшающих пород при совершенствовании красного степного скота в Кабардино-Балкарии // Аграрная Россия. 2013. № 9. С. 44–45.
7. Наумов М.К. Молочная продуктивность коров красной степной породы и их помесей с голштинами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (95). С. 322–325. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-95-3-322-325.
8. Максимов Г.В., Ленкова Н.В., Максимов А.Г. Итоги совершенствования скота красной степной породы по развитию и продуктивности // Молочно-хозяйственный вестник. 2015. № 3 (19). С. 27–34.
9. Ужахов М.И., Гетоков О.О., Долгиева З.М. Изменение продуктивных качеств и резистентных свойств скота черно-пестрой и красной степной пород в процессе голштинизации // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 2. С. 30–32.
10. Юшкова И.В., Петрова М.Ю., Борисенко С.В. Влияние кровности по улучшающей породе на продолжительность и эффективность использования коров // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (24). С. 58–64.
11. Князева Т.А., Василик П.М. Шведская красная порода – ресурс увеличения рентабельности молочного скотоводства Омской области // Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 3. С. 18–20.
12. Хашегульгов Ш.Б., Гетоков О.О. Молочная продуктивность коров красной степной породы разных конституциональных типов в

условиях ГУП «Нестеровское» Республики Ингушетия // Известия Дагестанского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (4). С. 136–139.

REFERENCES

1. Knyazeva T.A. The Red Steppe breed of the cattle: result of the efficient selection. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry*, 2013, no. 7, pp. 14–16. (In Russian).
2. Makharinets G.G., Khudaibergenov R.B. Intensive system of Red Steppe cattle use on the dairy complex. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2013, no. 5 (43), pp. 136–139. (In Russian).
3. Kurchenkova O.R., Petrova M.Yu., Chernigov Yu.V. The impact of bulls on the efficiency increase of Red Steppe cows of advanced breeds. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*, 2017, no. 4 (28), pp. 42–47. (In Russian).
4. Getokov O.O., Shakhmurzov M.M., Shevkhuzhev A.F., Smakuev D.R. Perfection of cattle of Red Steppe breed by Holstein bulls in the Central Ciscaucasia conditions. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii im. V.R. Filippova = Bulletin of the BSAA named after V. R. Filippov*, 2020, no. 1 (58), pp. 42–52. (In Russian). DOI: 10.34655/bgsha.2020.58.1.007.
5. Gukezhev V.M., Tarchokova T.M., Batyrova O.A. Influence of various variants of crossing Red Steppe cattle on the productive longevity of cows. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN = News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2017, no. 2 (76), pp. 123–127. (In Russian).
6. Pazova M.T., Tleynsheva M.G., Tarchokov T.T., Kagermazov T.B. Improving the effectiveness of grade up in a totally improving Red Steppe cattle in Kabardino-Balkaria. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2013, no. 9, pp. 44–45. (In Russian).
7. Naumov M.K. Milk productivity of Red cows Steppe breed and their crossbreeds with Holsteins. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2022, no. 3 (95), pp. 322–325. (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2022-95-3-322-325.
8. Maksimov G.V., Lenkova N.V., Maksimov A.G. The results of Red Steppe cattle breed development and productivity improvement. *Molochno-hozyaystvennyi vestnik = Dairy Bulletin*, 2015, no. 3 (19), pp. 27–34. (In Russian).
9. Uzhakhov M.I., Getokov O.O., Dolgieva Z.M. Changes in productive performance and resistance of Black-and-White and Red-Steppe cattle during holsteinization. *Molochnoe i myasnye skotovodstvo = Dairy and Beef Cattle Farming*, 2016, no. 2, pp. 30–32. (In Russian).
10. Yushkova I.V., Petrova M.Yu., Borisenko S.V. Effect of heredity quotient of upgrading breed on length and efficiency cows employment. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*, 2016, no. 4 (24), pp. 58–64. (In Russian).
11. Knyazeva T.A., Vasilik P.M. Swedish Red breed – the resource of increase the breeding livestock profitability in Omsk region. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo = Dairy and Beef Cattle Farming*, 2014, no. 3, pp. 18–20. (In Russian).
12. Khashegulgov Sh.B., Getokov O.O. Dairy productivity of cows of Red Steppe breed of different constitutional types in the conditions of GUP «Nesterovskoe» in the Republic of Ingushetia. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Daghestan GAU Proceedings*, 2019, no. 4 (4), pp. 136–139. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Богатырева И.А.-А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Краснова О.А., доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой

Коник Н.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

✉ **Улимбашев М.Б.**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник;
адрес для переписки: Россия, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49;
e-mail: murat-ul@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Irina A.-A. Bogatyreva, Candidate of Science in Agriculture, Associate Professor

Oksana A. Krasnova, Doctor of Science in Agriculture, Department Head

Nina V. Konik, Doctor of Science in Agriculture, Professor

✉ **Murat B. Ulimbashev**, Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher: **address:** 49, Nikonova St., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, Russia; **e-mail:** murat-ul@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 11.01.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 10.03.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ХОЗЯЙСТВАХ, НЕБЛАГОПОЛУЧНЫХ ПО ЛЕЙКОЗУ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

(✉) Двоеглазов Н.Г., Агаркова Т.А., Осипова Н.А., Магер С.Н.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

(✉) e-mail: lableucosis@ngs.ru

Изучена динамика проведения оздоровительной работы на примере двух аналогичных по экономическим и производственно-технологическим характеристикам хозяйств Новосибирской области. Приведены данные обстановки по лейкозу на момент начала активной оздоровительной работы и результаты через несколько лет. Проанализированы показатели инфицированности поголовья по разным возрастным группам и на разных отделениях изучаемых хозяйств за 2017–2022 гг. Уровень инфицированности коров в хозяйствах с 2017 по 2019 г. имел тенденцию к незначительному снижению и находился в диапазоне 8–4%. Уровень инфицированности телок составил 5–12%. Регистрация новых случаев реагирования по серологии в группе телят в хозяйстве № 1 снизилась от 9,9 до 4,9%, в хозяйстве № 2 – от 14,2 до 7,1%. Показана положительная динамика реализации плана по оздоровлению с применением для серологической диагностики иммуноферментного анализа (ИФА). После перехода с реакции иммунодиффузии в геле агар (РИД) на ИФА и первого его применения число вновь выявленных животных увеличилось во всех возрастных группах в обоих хозяйствах по сравнению с предыдущим периодом. В последующих исследованиях процент новых случаев значительно снизился. Физическое разделение групп животных с разным статусом, размещение их на разных отделениях и четкий контроль с моментальным исключением из производственного процесса инфицированных животных привело к заметному улучшению эпизоотической ситуации в хозяйстве. Отмечены аспекты, вызывающие замедление оздоровительной работы, в частности, несвоевременное разделение животных на группы после проведения серологической диагностики и установления их статуса по инфекции. Проведение полной замены инфицированного крупного рогатого скота в неблагополучных стадах или отделениях группами животных, отрицательных по серологии, позволяет значительно сокращать сроки оздоровления, особенно на завершающем этапе.

Ключевые слова: лейкоз, крупный рогатый скот, оздоровительные мероприятия, ИФА, РИД, инфицированность

RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF SANITATION MEASURES IN THE FARMS UNFAVORABLE FOR BOVINE LEUKEMIA

(✉) Dvoeglazov N.G., Agarkova T.A., Osipova N.A., Mager S.N.

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russia

(✉) e-mail: lableucosis@ngs.ru

The dynamics of recuperation work on the example of two farms similar in economic and production and technological characteristics of the Novosibirsk region were studied. The data on leukemia at the time of the beginning of active recuperation work and the results after several years were presented. The infection rates of the livestock by different age groups and in different parts of the studied farms were analyzed for 2017–2022. The infection rate of cows on the farms tended to decrease slightly from 2017 to 2019 and was in the range of 8–4%. The infection rate of the heifers was 5–12%. Registration of new cases of serology response in the group of the calves in the farm No. 1 decreased from 9.9 to 4.9%, in the farm No. 2 - from 14.2 to 7.1%. The positive dynamics of implementation of the recovery plan using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) for serological diagnosis was shown. After switching from the immunodiffusion in agar gel reaction (AGID) to ELISA and its first use, the number of newly detected animals increased in all age groups in both farms compared to the previous period. In subsequent studies, the percentage of new cases decreased significantly. Physical separation of the groups of animals with different statuses, placing them in different sections and clear control with the

immediate exclusion of infected animals from the production process led to a noticeable improvement in the epizootic situation on the farm. Aspects causing delay in sanitation work were noted, in particular, untimely separation of animals into groups after serological diagnosis and establishment of their infection status. Complete replacement of infected cattle in unhealthy herds or wards by groups of serology-negative animals can significantly reduce the recovery period, especially at the final stage.

Keywords: leukemia, cattle, recreational activities, ELISA, AGID, infection

Для цитирования: Двоеглазов Н.Г., Агаркова Т.А., Осипова Н.А., Магер С.Н. Результаты реализации оздоровительных мероприятий в хозяйствах, неблагополучных по лейкозу крупного рогатого скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 67–73. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-8>

For citation: Dvoeglazov N.G., Agarkova T.A., Osipova N.A., Mager S.N. Results of the implementation of sanitation measures in the farms unfavorable for bovine leukemia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp 67–73. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-8>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Лейкоз крупного рогатого скота остается на большей части территории Российской Федерации (РФ) актуальной проблемой. Удельный вес лейкоза из основных инфекционных болезней крупного рогатого скота в РФ составляет более 40%. В 2021 г. выявлено 2070 неблагополучных по лейкозу КРС (крупного рогатого скота) пунктов и исследовано (гематологическая проба) 1398,704 тыс. гол. КРС, выявлено 15 096 положительно реагирующих голов, сдано на убой 15 611 гол.¹ В Сибирском федеральном округе (СФО), в частности в Новосибирской области, ситуация по лейкозу остается стабильно напряженной. СФО занимает второе место в России по числу неблагополучных пунктов [1, 2].

Для диагностики лейкоза крупного рогатого скота в настоящее время в основном применяются серологические (РИД и ИФА), генно-молекулярные (ПЦР) [3] и гематологические методы исследования. При отсутствии специфических способов лечения и профилактики своевременная диагностика и удаление из стада больных и инфицированных животных – единственная действенная мера при оздоровлении поголовья от лейкоза². Существующие методы и способы по-

зволяют получить положительный результат при проведении оздоровительных мероприятий [4–7].

В хозяйствах, проводящих оздоровление, можно условно выделить три группы животных, обычно относящихся к отдельным фермам или гуртам. Первая – в ней концентрируются здоровые, отрицательные по серологическим исследованиям животные. Обычно данная группа ремонтируется только отрицательным по серологии молодняком, как правило, полученным от здоровых коров. Вторая – находящаяся на промежуточной стадии оздоровления, в ней большая часть животных также отрицательная по серологии (условно здоровая), но присутствует небольшая доля реагирующих. Это связано с необходимостью поддерживать определенную численность на отделении для нормального его функционирования и с ограничением резерва молодняка для замены. Данная группа ремонтируется преимущественно здоровым молодняком по мере возможности сельхозпредприятия. От этих возможностей зачастую напрямую зависят сроки оздоровления. Третья группа – оставшиеся реагирующие (инфицированные) гурты, отделения, стада. В них концентрируется скот из первых двух групп, в целом

¹Эпизоотическая ситуация в Российской Федерации 2022 год (1 квартал). URL: https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/files/iac/o_31_03_2022_otchet_iac_1_kv.pdf.

²Приказ Минсельхоза России от 24.03.2021 № 156 «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов лейкоза крупного рогатого скота» <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/laws/150301.html>.

пригодный, кроме наличия вируса лейкоза, для дальнейшей эксплуатации. Ремонтируется эта группа в основном инфицированным молодняком, и оздоровительный процесс в ней пойдет только после полного оздоровления первых двух.

Важной характеристикой оздоровительных мероприятий являются сроки оздоровления стада (хозяйства) от инфекции. Они могут быть совсем короткими при радикальном способе оздоровления (полная или частичная замена поголовья животными из благополучных по лейкозу сельхозпредприятий), а могут растягиваться на годы и даже десятилетия. У второго варианта развития событий есть свои причины, которые в основном состоят в несоблюдении регламента предписанных мер по тем или иным основаниям. Системный, комплексный подход позволяет повысить эффективность противоэпизоотических мероприятий [8–10].

Цель исследования – изучить динамику и провести анализ эффективности осуществления оздоровительных мероприятий в сельхозпредприятиях, неблагополучных по лейкозу на основании эпизоотологических показателей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании проанализирован опыт проведения оздоровительной работы при лейкозе КРС в двух товарных хозяйствах молочной направленности с аналогичными производственными и экономическими условиями. В хозяйстве № 1 – две фермы и шесть отделений. В хозяйстве № 2 – две фермы и пять отделений.

Работа выполнена сотрудниками лаборатории лейкозов на базе Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока и сотрудниками Сибирского научно-исследовательского и проектно-технологического института животноводства СФНЦА РАН. Серологическую диагностику проводили, используя тест-системы ИФА для обнаружения антител к гликопротеину gp51 лейкоза КРС (IDEXX Leucosis Blocking Ab Test). На первом этапе (2020 г.) провели диагностическое исследование в ИФА всего поголовья хозяйств старше 6 мес, за исключением отделений с РИД-положительными коровами, которых исследуют только гематологическим методом 2 раза в год с выбраковкой больных животных.

Далее были составлены планы проведения оздоровительных мероприятий, предусматривающие полный охват поголовья серологическими исследованиями (в данном варианте – ИФА), разделение стада на группы с условно здоровыми и инфицированными животными, выращивание ремонтного молодняка, свободного от вируса, и ввод его группами в стадо. Обязательным пунктом являлось соблюдение четкого контроля и учета за всеми животными.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для первичного анализа эпизоотической обстановки провели сравнение данных ветеринарной отчетности за 3 предыдущие, по отношению к началу активной оздоровительной работы, года (2017–2019). Данные представлены в табл. 1, 2.

Табл. 1. Результаты серологических исследований в РИД в хозяйстве № 1 за 2017–2019 гг. и в ИФА в 2020 г.

Table 1. Results of serological studies in AGID in farm No. 1 for the period 2017-2019, and in ELISA in 2020

Год	Возрастные группы								
	Коровы			Телки			Телята		
	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%
2017	2645	176	6,6	583	51	8,7	373	37	9,9
2018	4196	248	5,9	1046	74	7,1	885	105	11,8
2019	2784	120	4,3	1126	55	4,8	714	35	4,9
2020	2653	188	7,1	1209	73	6,0	902	87	9,6

Табл. 2. Результаты серологических исследований в РИД в хозяйстве № 2 за 2017–2019 гг. и в ИФА в 2020 г.**Table 2.** Results of serological studies in AGID in farm No. 2 for the period 2017–2019, and in ELISA in 2020

Год	Возрастные группы								
	Коровы			Телки			Телята		
	число исследованных животных, гол.	число реагирующих животных, гол.	%	число исследованных животных, гол.	число реагирующих животных, гол.	%	число исследованных животных, гол.	число реагирующих животных, гол.	%
2017	2234	189	8,4	689	65	9,4	190	27	14,2
2018	1890	155	8,2	810	91	11,2	358	30	8,3
2019	1703	109	6,4	583	70	12,0	212	15	7,1
2020	2465	204	8,2	775	109	14,1	437	90	20,6

С учетом того, что поголовье за исследуемый период количественно значительно не менялось, охват исследованиями разных возрастных групп в отдельные годы был неполным (см. табл. 1, 2). За ряд лет ситуация с регистрацией новых случаев инфицирования принципиально не менялась.

Уровень инфицированности коров в хозяйстве № 1 за период исследований немного снизился и находился в диапазоне от 6,6 до 4,3%, в хозяйстве № 2 – от 8,4 до 6,4%. Уровень инфицированности телок в хозяйстве № 1 варьировал от 8,7 до 4,8%, в хозяйстве № 2 отмечен незначительный рост вновь выявленных реагирующих животных (от 9,4% в 2017 г. до 12,0% в 2019 г.). Регистрация новых случаев реагирования по серологии в группе телят в хозяйстве № 1 снизилась от 9,9 до 4,9%, в хозяйстве № 2 – от 14,2 до 7,1%. Некоторое увеличение значе-

ний в 2020 г. можно объяснить более высокой чувствительностью ИФА в сравнении с РИД. Значительное увеличение процента инфицированных отметили только в группе телят в хозяйстве № 2. Все положительно реагирующие телята были переведены в группу откорма, положительные телки и коровы – в группы для пополнения стада с инфицированными коровами.

Важно отметить, что определенная работа в хозяйствах в направлении оздоровления была проведена. На двух отделениях в хозяйстве № 1 и на одном отделении в хозяйстве № 2 сформированы за несколько лет группы с РИД-отрицательными животными – для краткости обозначаемые далее «чистые» группы (см. табл. 3, 4). На данных отделениях содержались коровы. Полученные от них телочки в основном служили ремонтной базой для этих стад. Также в эти стада вводились телки,

Табл. 3. Результаты серологических исследований в ИФА в хозяйстве № 1 «чистых» отделений (1, 2 и 5), и отделений второй очереди (3 и 4) за 2021–2022 гг.**Table 3.** Results of serological tests in ELISA in farm No. 1 for the period 2021–2022 “clean” herds - 1, 2 and 5, and the herds of the second stage - 3 and 4

Отделение	Возрастные группы								
	Коровы			Телки			Телята		
	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%
2021 г.									
«Чистые»	1613	2	0,12	720	3	0,4	536	6	1,2
Остальные	890	16	1,8	415	4	0,9	638	21	3,3
2022 г.									
«Чистые»	1804	0	0	693	1	0,1	204	0	0
Остальные	801	5	0,6	350	1	0,3	310	10	3,2

Табл. 4. Результаты серологических исследований в ИФА в хозяйстве № 2 «чистых» отделений (1 и 3) и отделения второй очереди (5) за 2021–2022 гг.

Table 4. Results of serological tests in ELISA in farm No. 2 for the period 2021-2022 “clean” herds - 1 and 3, and the herds of the second stage - 5

Отделения по годам	Возрастные группы								
	Коровы			Телки			Телята		
	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%	Число исследованных животных, гол.	Число реагирующих животных, гол.	%
2021 г.									
«Чистые»	1127	20	1,7	487	5	1,0	302	2	0,7
Остальные	800	33	4,1	198	12	6,0	150	48	32,0
2022 г.									
«Чистые»	1309	8	0,6	355	56	15,7	171	3	1,7
Остальные	652	15	2,4	220	27	12,3	113	23	20,3

полученные из отделений, где содержались коровы как отрицательные в РИД, так и положительные. Так как процент реагирующих был относительно невысоким, дополнительно к этим оздоровленным отделениям начали формировать новые, на которых сконцентрировали здоровых животных из стад, где выявляются группы реагирующих в серологии животных. Положительно реагирующих переводили на вторые фермы в отделения, где содержатся только инфицированные коровы, а также в отделения второй очереди, которые ремонтировались телками после восстановления численности «чистых» отделений.

Физическое разделение групп животных с разным статусом, размещение их на разных отделениях и четкий контроль с моментальным исключением из производственного процесса инфицированных животных привели к заметному улучшению эпизоотической ситуации в хозяйстве.

На начало 2023 г. в хозяйстве № 1 оздоровительная работа завершается. На отделениях 3 и 4 получены первые полностью отрицательные по серологическому исследованию результаты. На отделении 6, где содержались около 400 инфицированных коров, произведена одномоментная замена поголовья закупленными из благополучного хозяйства животными.

На первом этапе, после полного обследования при помощи ИФА всего поголовья и изоляции положительно реагирующих, эпизоотическая картина в хозяйстве № 2 заметно

улучшилась. Однако если на «чистых» отделениях с коровами динамика оздоровления позитивная, в группах телок и телят отмечен рост числа инфицированных животных. При детальном изучении выяснили, что в группе телят ИФА-отрицательные животные содержались вместе с ИФА-положительными в течение длительного времени после установления серологического статуса по лейкозу, а часть серопозитивных телят осталась в группе до следующего исследования и попала в исследование повторно. С группой телок случилась похожая ситуация – исследованные и отрицательные по ИФА телки, сформированные в группу для отправки на другое отделение, остались на прежнем на несколько месяцев. За это время они содержались в одном дворе с ИФА-положительными. Из ранее проведенных исследований известно, что на высокий показатель инфицированности у телок значительное влияние оказывает фактор совместного содержания и пастбы здоровых и инфицированных животных [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе эпизоотической динамики в двух хозяйствах с изначально схожей ситуацией по лейкозу КРС установлено, что весомую роль в успешном оздоровлении играет четкое исполнение всех предписанных планом пунктов. В хозяйстве № 1 все предписания выполняли строго, и динамика элиминации вируса лейкоза из стада была выражена

ной и предсказуемой. В достаточно короткие сроки удалось добиться видимых результатов. После проведения одномоментной замены оставшихся инфицированных коров на одном отделении группой здоровых по лейкозу животных выйти на завершающий этап оздоровления хозяйства в целом. В хозяйстве № 2 оздоровление велось медленно. Установленная динамика противоречила ожиданиям, обоснованным логикой мероприятий, обозначенным в плане. При дополнительном анализе выявлены нарушения исполнения рекомендуемых мер, что не позволило достигнуть ожидаемого результата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулюкин М.И., Барабанов И.И., Иванова Л.А., Степанова Т.В. Мониторинг эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в товарных и племенных хозяйствах Российской Федерации за 2014–2015 годы // Ветеринария и кормление. 2016. № 4. С. 5–39.
2. Гулюкин М.И., Гулюкин А.М., Донченко А.С., Донченко Н.А., Барсуков Ю.И., Логинов С.И., Агаркова Т.А., Разумовская В.В., Двоглазов Н.Г., Осипова Н.А. Анализ эпизоотической ситуации по лейкозу крупного рогатого скота в Сибирском федеральном округе // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 73–79. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-8.
3. Барышникова Е.И., Сенина М.Е., Девришова З.С., Разумова А.А. Выявление ДНК провируса лейкоза крупного рогатого скота методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени // Ветеринария. 2022. № 12. С. 22–26.
4. Будулов Н.Р., Микаилов М.М., Гунашев Ш.А., Яникова Э.А., Халиков А.А. Текущая ситуация по лейкозу крупного рогатого скота в Дагестане и методы его диагностики // Ветеринария и кормление. 2023. № 1. С. 14–18.
5. Мусин Р.Р., Зиннатов Ф.Ф., Якунов Т.Р. Опыт борьбы и современные методы контроля оздоровления хозяйств от лейкоза крупного рогатого скота // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2022. № 2. С. 150–154.
6. Донник И.М., Гулюкин М.И., Бусол В.А., Коваленко Л.В., Коваленко А.М. Лейкоз крупного

рогатого скота – диагностика, оздоровление, антропозоонозный потенциал (история вопроса) // Сельскохозяйственная биология, 2021. № 2 (56). С. 230–244. DOI: 10.15389/AGROBIOLOGY.2021.2.230rus.

7. Целуева Н.И. Анализ инфицированности и заболеваемости лейкозом крупного рогатого скота // Международный вестник ветеринарии. 2022. № 1. С. 42–47.
8. Тищенко А.С., Черкашин В.В. Анализ эффективности оздоровительных мероприятий в отношении лейкоза крупного рогатого скота // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 87. С. 128–133.
9. Иванов О.В., Иванова О.Ю. Варианты оздоровительных мероприятий при лейкозе крупного рогатого скота // Farm Animals. 2015. № 3 (10). Р. 32–36.
10. Зубова Т.В., Плешков В.А., Миронов А.Н. Современные методы и опыт борьбы с лейкозом крупного рогатого скота // В мире научных открытий. 2018. № 5. С. 119–131.
11. Двоглазов Н.Г., Храмцов В.В., Агаркова Т.А., Осипова Н.А. Оценка факторов риска распространения лейкоза крупного рогатого скота в хозяйствах Новосибирской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. № 3. С. 43–49. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-6.

REFERENCES

1. Gulyukin M.I., Barabanov I.I., Ivanova L.A., Stepanova T.V. Monitoring of the epizootic situation of bovine leukemia in commodity and breeding farms of the Russian Federation for 2014–2015. *Veterinariya i kormlenie = Veterinaria i kormlenie*, 2016, no. 4, pp. 5–39. (In Russian).
2. Gulyukin M.I., Gulyukin A.M., Donchenko A.S., Donchenko N.A., Barsukov Yu.I., Loginov S.I., Agarkova T.A., Razumovskaya V.V., Dvoeglazov N.G., Osipova N.A. Analysis of the epizootic situation of cattle leukemia in the Siberian Federal District. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, no. 4, pp. 73–79. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-4-8.
3. Baryshnikova E.I., Senina M.E., Devrishova Z.S., Razumova A.A. Detection of DNA of bovine leukemia provirus by real-time PCR. *Veterinariya = Veterinary Medicine*, 2022, no. 12, pp. 22–26. (In Russian).

4. Budulov N.R., Mikailov M.M., Gunashev Sh.A., Yanikova E.A., Khalikov A.A. The current situation of bovine leukemia in Dagestan and methods for its diagnosis. *Veterinariya i kormlenie = Veterinaria i kormlenie*, 2023, no. 1, pp. 14–18. (In Russian).
5. Musin R.R., Zinnatov F.F., Yakupov T.R. Experience in fighting and modern methods of control of improvement of farms from cattle leukemia. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Bauman = Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*, 2022, no. 2, pp. 150–154. (In Russian).
6. Donnik I.M., Gulyukin M.I., Busol V.A., Kovalenko L.V., Kovalenko A.M. Bovine leukemia virus infection - diagnostics, education, and anthroozoonotic potential (background). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2021, no. 2 (56). pp. 230–244. (In Russian). DOI: 10.15389/AGROBIOLOGY.2021.2.230rus.
7. Tselueva N.I. Analysis of infection and incidence of leukemia in cattle. *Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii = International Bulletin of Veterinary Medicine*, 2022, no. 1. pp. 42–47. (In Russian).
8. Tishchenko A.S., Cherkashin V.V. Analysis of wellness measures effectiveness in relation to cattle leukemia. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2020, no. 87, pp. 128–133. (In Russian).
9. Ivanov O.V., Ivanova O.Yu. Versions of health measures in the bovine leukemia. *Farm Animals = Farm Animals*, 2015, no. 3(10), pp. 32–36. (In Russian).
10. Zubova T.V., Pleshkov V.A., Mironov A.N. Modern methods and experience of struggle against leukemia of cattle. *V mire nauchnykh otkrytii = In the world of scientific discoveries*, 2018, no. 5, pp. 119–131. (In Russian).
11. Dvoeglazov N.G., Khramtsov V.V., Agarkova T.A., Osipova N.A. Analysis of risk factors for the leukemia prevalence in cattle in the farms of the Novosibirsk region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, no. 3, pp. 43–49. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-3-6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Двоеглазов Н.Г.**, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск-1, а/я 8; e-mail: lableucosis@ngs.ru

Агаркова Т.А., кандидат ветеринарных наук, заведующая лабораторией, старший научный сотрудник

Осипова Н.А., кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник

Маре́г С.Н., доктор биологических наук, руководитель подразделения СибНИПТИЖ СФНЦ РАН

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nikolai G. Dvoeglazov**, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher; **address:** PO Box 8, Krasnoobsk-1, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: lableucosis@ngs.ru

Tatyana A. Agarkova, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Laboratory Head, Senior Researcher

Natalia A. Osipova, Candidate of Science in Biology, Associate Professor, Senior Researcher

Sergey N. Mager, Doctor of Science in Biology, Business Unit Supervisor at Siberian Research Institute of Animal Husbandry SFSCA RAS

Дата поступления статьи / Received by the editors 27.03.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 18.05.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023



О РАЦИОНАЛЬНОМ ВЫБОРЕ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА И ЖАТКИ ДЛЯ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

✉ **Михальцов Е.М., Чекусов М.С., Кем А.А., Шмидт А.Н., Даманский Р.В.**

Омский аграрный научный центр

Омск, Россия

✉ e-mail: mihalcov@anc55.ru

Рассмотрен вопрос производительности современных моделей зерноуборочных комбайнов производства ООО «Ростсельмаш» и ОАО «Гомсельмаш» в связке с номенклатурой поставляемых к ним жаток для прямого комбайнирования и в зависимости от урожайности зерновых культур, типичной для Сибирского региона. Для определения рационального состава уборочного агрегата из списка рассматриваемых моделей расчетно-графическим методом определены модели комбайнов, загрузка которых может быть обеспечена в Сибирском регионе на уровне, близком или равном максимальной производительности. Установлено, что при условии использования жаток шириной захвата 9,0 м с российскими моделями комбайнов и 9,2 м – с белорусскими для проведения уборочных работ рационально использовать Vector 410 при уровне урожайности 1,8–2,4 т/га, GS 10 PRO – 2,45–3,00 т/га. При этом может быть полностью реализован их технический потенциал и обеспечена максимальная производительность как по убранной площади, так и по намолоту зерна. Использование более производительных комбайнов на уборке зерновых прямым комбайнированием в Сибири не всегда оправдано, поскольку при существующем здесь в настоящее время уровне урожайности зерна их технический потенциал не может быть в полной мере реализован. На основе проведенных исследований получены диаграммы, с помощью которых можно провести подбор уборочного агрегата «комбайн + жатка», с учетом уровня урожайности и контурности полей в конкретном хозяйстве, варьируя шириной захвата жатки.

Ключевые слова: зерновые культуры, урожайность зерна, комбайн, производительность комбайна, ширина захвата жатки

ON THE RATIONAL CHOICE OF A COMBINE HARVESTER AND A REAPER FOR GRAIN HARVESTING IN CONDITIONS OF SIBERIA

✉ **Mikhaltsov E.M., Chekusov M.S., Kem A.A., Schmidt A.N., Damansky R.V.**

Omsk Agrarian Research Center

Omsk, Russia

✉ e-mail: mihalcov@anc55.ru

The issue of productivity of modern models of grain harvesters produced by OOO Rostselmash and OAO Gomselmash in connection with the nomenclature of reapers supplied to them for direct harvesting and depending on the grain crop yields typical for the Siberian region was considered. To determine the rational composition of the harvesting unit from the list of models under consideration, the models of combines, the loading of which can be provided in the Siberian region at a level close to or equal to the maximum productivity, were determined by calculation and graphical method. It was found that on condition of using 9,0 m wide reapers with Russian models of combine harvesters and 9,2 m with Byelorussian models, for harvesting works it is rational to use Vector 410 with the yield of 1,8-2,4 t/ha and GS 10 PRO with the yield of 2,45-3,00 t/ha. In this case, their technical potential can be fully realized and the maximum productivity in terms of both harvested area and threshed grain

can be ensured. The use of more productive combine harvesters for direct harvesters in Siberia is not always justified, because at the current level of grain yields here their technical potential cannot be fully realized. On the basis of the research, diagrams were obtained, which can be used to select the harvesting machine “combine harvester + reaper”, taking into account the level of yield and the contour of fields in a particular farm, varying the coverage of the reaper.

Keywords: grain crops, grain yield, combine, combine performance, reaper coverage

Для цитирования: Михальцов Е.М., Чекусов М.С., Кем А.А., Шмидт А.Н., Даманский Р.В. О рациональном выборе зерноуборочного комбайна и жатки для уборки зерновых в условиях Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 74–82. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-9>

For citation: Mikhaltsov E.M., Chekusov M.S., Kem A.A., Schmidt A.N., Damansky R.V. On the rational choice of a combine harvester and a reaper for grain harvesting in conditions of Siberia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp 74–82. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Возделывание зерновых культур является основным и традиционным направлением в сельском хозяйстве Российской Федерации. Вопросам проработки технологий возделывания и уборки зерновых на территории России посвящено много исследований. Не последнее место в технологии получения зерна занимает организация и технология проведения уборочных работ [1–3]. На ее долю приходится 25–45% прямых технических затрат, приходящихся на реализацию технологии производства зерновых культур в целом [4]. Поэтому эффективность вложения средств в производство зерновых хозяйством в значительной мере определяется обоснованностью выбора зерноуборочного комбайна и жатки к нему.

Особенно актуальным вопрос рационального выбора уборочной техники становится в условиях сокращения ее общего количества в сельскохозяйственной отрасли [5, 6], поэтому выбор состава уборочного агрегата (комбайн + жатка) для нужд конкретного сельхозтоваропроизводителя должен быть обоснованным и рациональным с учетом особенностей возделываемых культур и их урожайности в хозяйстве за несколько последних лет.

В настоящее время в России большинство отраслей находятся в условиях санкционного давления. Не стало исключением и сельское хозяйство. Закупки зарубежной сельскохозяйственной техники стали нецелесообразными по причинам ее необоснованно высокой стоимости и непрогнозируемости будущих поста-

вок запасных частей и расходных материалов. В сложившихся условиях сокращения численности и старения машинно-тракторного парка российские сельскохозяйственные производители поставлены в рамки выбора уборочной техники в основном из модельного ряда комбайнов, производимых в Российской Федерации и Республике Беларусь [7].

Цель исследования – определить рациональный состав уборочных агрегатов, состоящих из современных моделей зерноуборочных комбайнов производства ООО «Ростсельмаш» и ОАО «Гомсельмаш» и жаток прямого комбайнирования к ним, при уборке которыми достигались бы максимальная загрузка молотильно-сепарирующего устройства и максимальная производительность по убранной площади в условиях Сибирского региона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить составной элемент уборочного агрегата, лимитирующий его производительность при урожайности зерновых культур, характерной для Сибири.

2. На основе решения первой задачи определить рациональный состав уборочного агрегата, который обеспечит максимальную загрузку уборочного агрегата при максимальной производительности по убранной площади.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Рассмотрены современные зерноуборочные комбайны производства ООО «Ростсельмаш» и ОАО «Гомсельмаш». В табл. 1 и 2

Табл. 1. Характеристики основных моделей зерноуборочных комбайнов, производимых в Российской Федерации

Table 1. Characteristics of the main models of combine harvesters produced in the Russian Federation

Модель комбайна	Максимальная производительность, т/ч	Ширина используемых жаток, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.
Nova	10	4; 5; 6; 7	132/180
Vector 410	12	5; 6; 7; 9	154/210
Acros 550 (585)	25	5; 6; 7; 9	206/280 (221/300)
T-500	30	7; 9	264/360
RSM 161	36	7; 9	294/400
Torum 785	45	7; 9	383/520

Табл. 2. Характеристики основных моделей зерноуборочных комбайнов, производимых в Республике Беларусь

Table 2. Characteristics of the main models of combine harvesters produced in the Republic of Belarus

Модель комбайна	Максимальная производительность (определена при соотношении массы зерна к массе соломы 1,0 : 1,2), т/ч	Ширина используемых жаток, м	Мощность двигателя, кВт/л.с.
GS 812 PRO	13,0	4; 5; 6; 7	169/230
GS 10 PRO	16,3	6; 7; 9,2	184/250
GS 12A1	19,6	6; 7; 9,2	243/330
GS 2124	26,2	9,2	390/530

приведены показатели производительности зерноуборочных комбайнов, изготавливаемых этими предприятиями, ширина жаток, рекомендованных к использованию с ними и мощность установленных двигателей.

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют о том, что современные зерноуборочные комбайны отечественного производства и производства Республики Беларусь обладают высокой производительностью и мощностью двигателя

при ширине захвата жаток, не превышающей 9,0–9,2 м. Однако характеристики высокой производительности комбайна не должны быть определяющими при выборе уборочной техники потребителем. На практике часто бывает, что даже самая большая ширина захвата жаток из производимого ассортимента, наряду с рекомендованной скоростью движения на уборке при наложении на обыкновенно невысокую в местных условиях урожайность, не обеспечивает загрузку машины в пределах, близких к номинальным. В этом случае эффективность применения высокопроизводительного комбайна становится ниже эффективности менее производительного комбайна, подобранного в соответствии с критериями обеспечения оптимальной загрузки.

По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Омской области за 2020, 2021 гг. и 9 мес 2022 г. сельскохозяйственными организациями области приобретено 619 единиц (ед.) зерноуборочных комбайнов различных марок. Среди них самые высокопроизводительные – Acros, которых было закуплено 182 ед. (или 29,4%). В исследовании изучен вопрос соответствия их характеристик условиям работы в Сибири.

В Сибирском федеральном округе самая высокая урожайность зерновых культур за 2010–20-е гг. получена в 2021 г. При этом самый высокий уровень средней урожайности зерновых в этом году зафиксирован в Красноярском крае – 2,88 т/га. Самый низкий – 1,65 т/га – в Республике Алтай. Ориентируясь на эти два граничных значения, определяется выбор жаток и комбайнов из ассортимента производимых ООО «Ростсельмаш» и ОАО «Гомсельмаш» по критериям загрузки, близкой к оптимальной и высокой производительности по убранной площади.

Отмечено, что вопрос эффективного использования парка зерноуборочных комбайнов и формирования его оптимального модельного состава в хозяйстве проработан целым рядом исследований и имеет несколько путей решения^{1,2} [8–14].

¹Щитов С.В., Кидяева Н.П. Выбор комбайнов по коэффициентам значимости // Техника и оборудование для села. 2014. № 5. С. 24–26.

²Кидяева Н.П., Щитов С.В. Оптимизация выбора зерноуборочных комбайнов по погодным условиям // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Сборник научных трудов. Благовещенск, 2013. С. 80–87.

Однако использование большинства из предложенных методик затруднено в условиях хозяйств по соображениям сложности проводимых расчетов, учитывающих большое количество критериев и факторов, учесть и рассчитать которые на практике бывает довольно сложно. При определении целесообразности применения той или иной модели комбайна в расчетах за исходные данные принимали ширину захвата жатки, урожайность и максимальную производительность комбайнов, декларированную их изготовителями. Предполагалось, что на режиме оптимальной загрузки двигателя и молотильно-сепарирующего устройства экономическая эффективность применения комбайна априори будет максимальной, а потери – в пределах допустимых. Прочие эксплуатационные характеристики в расчетах не учитывались.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Производительностью зерноуборочного комбайна принято считать количество хлебной массы, проходящей через молотильно-се-

парирующее устройство в единицу времени. При этом соотношение зерна и соломы в хлебной массе в зависимости от высоты среза, видовых и сортовых особенностей убираемых культур может варьировать в довольно широком диапазоне. Так, например, для ячменя это соотношение может достигать 1,0 : 1,2, для озимой ржи – 1 : 2. Для большинства сортов зерновых культур, возделываемых в Сибири, соотношение массы зерна к массе соломы лежит внутри этого диапазона.

При расчетах намолота зерна при уборке зерновых нами использована формула

$$H_3 = \frac{V_p \times Y \times B_k \times k_{ш}}{10},$$

где V_p – рабочая скорость комбайна, км/ч; Y – урожайность по зерновой части, т/га; B_k – конструктивная ширина захвата жатки, м; $k_{ш}$ – коэффициент, учитывающий перекрытие между смежными проходами жатки (для расчетов принимался равным 0,95).

На рис. 1–4 приведены диаграммы, построенные для массы намолоченного зерна

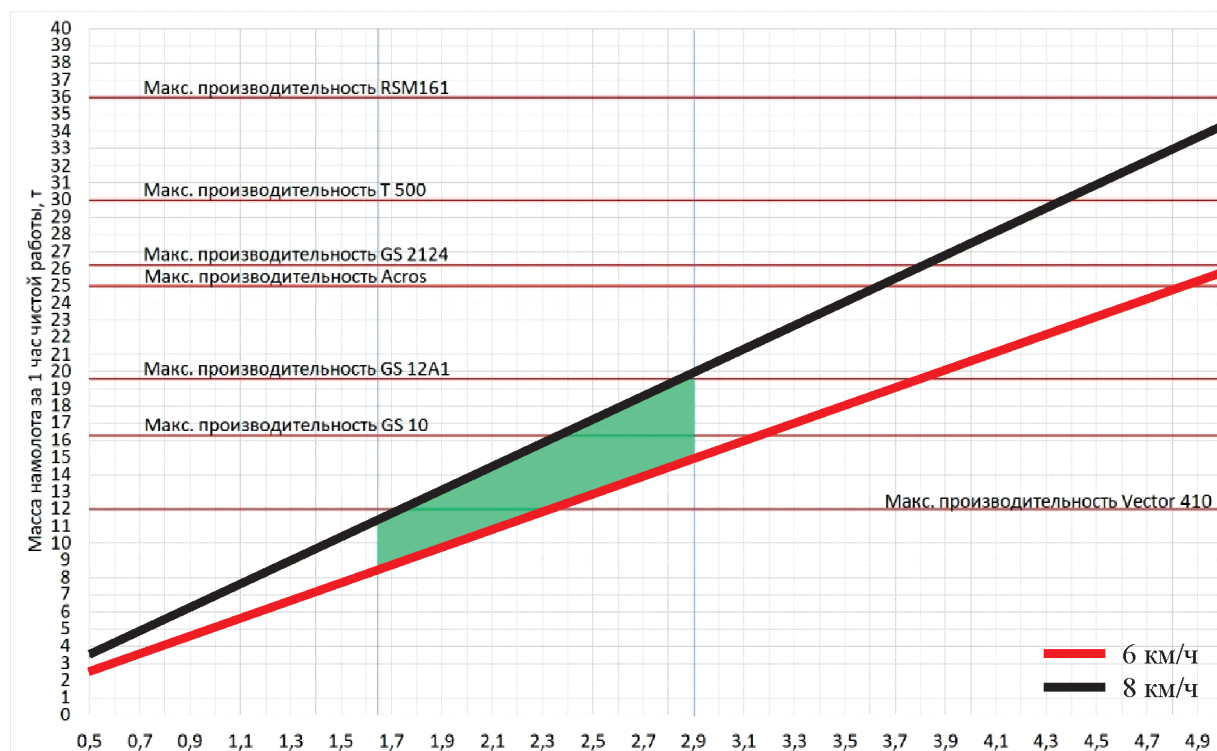


Рис. 1. Диаграмма для определения рационального состава уборочного агрегата при работе с жаткой шириной захвата 9 м в зависимости от урожайности и скорости движения комбайна

Fig. 1. Diagram for determining the rational composition of the harvesting unit when working with a reaper with a coverage of 9 m, depending on the yield and speed of the combine

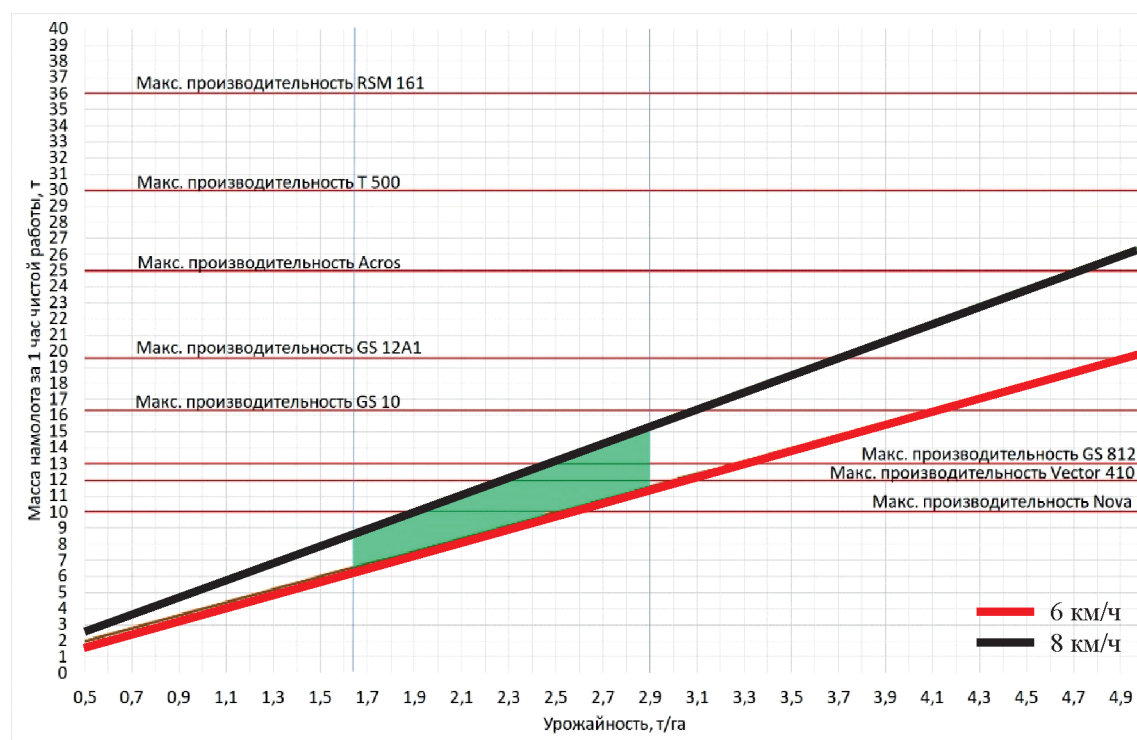


Рис. 2. Диаграмма для определения рационального состава уборочного агрегата при работе с жаткой шириной захвата 7 м в зависимости от урожайности и скорости движения комбайна

Fig. 2. Diagram for determining the rational composition of the harvesting unit when working with a reaper with a coverage of 7 m, depending on the yield and speed of the combine

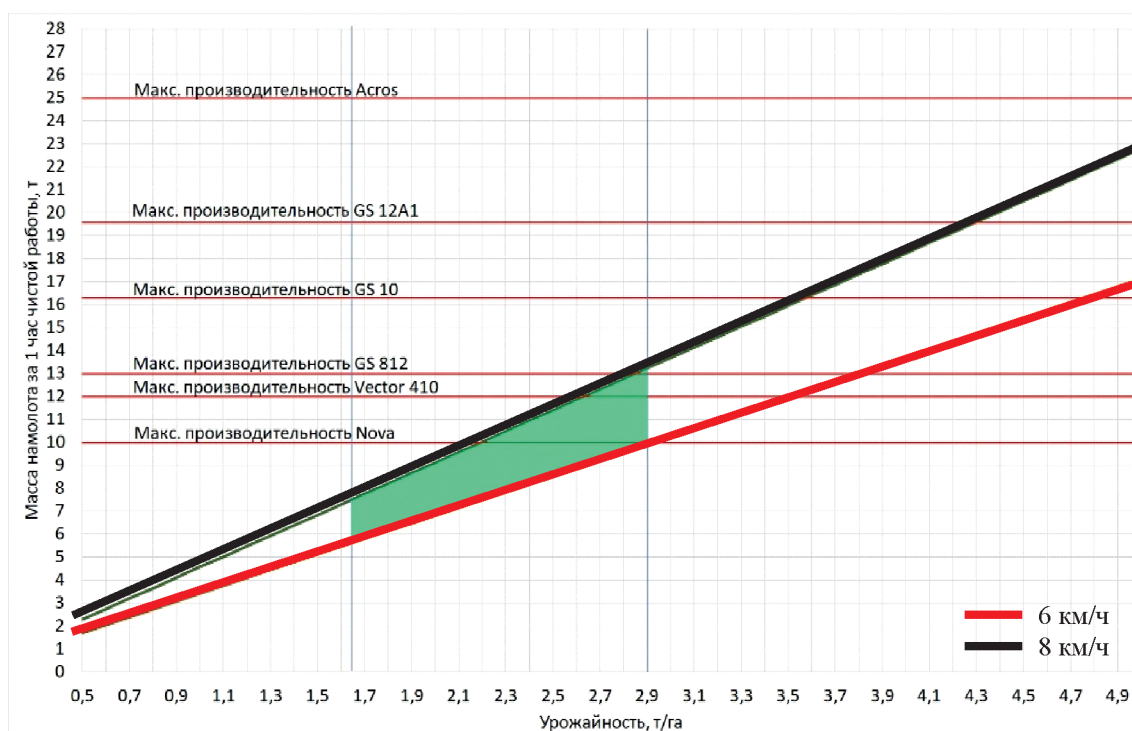


Рис. 3. Диаграмма для определения рационального состава уборочного агрегата при работе с жаткой шириной захвата 6 м в зависимости от урожайности и скорости движения комбайна

Fig. 3. Diagram for determining the rational composition of the harvesting unit when working with a reaper with a coverage of 6 m, depending on the yield and speed of the combine

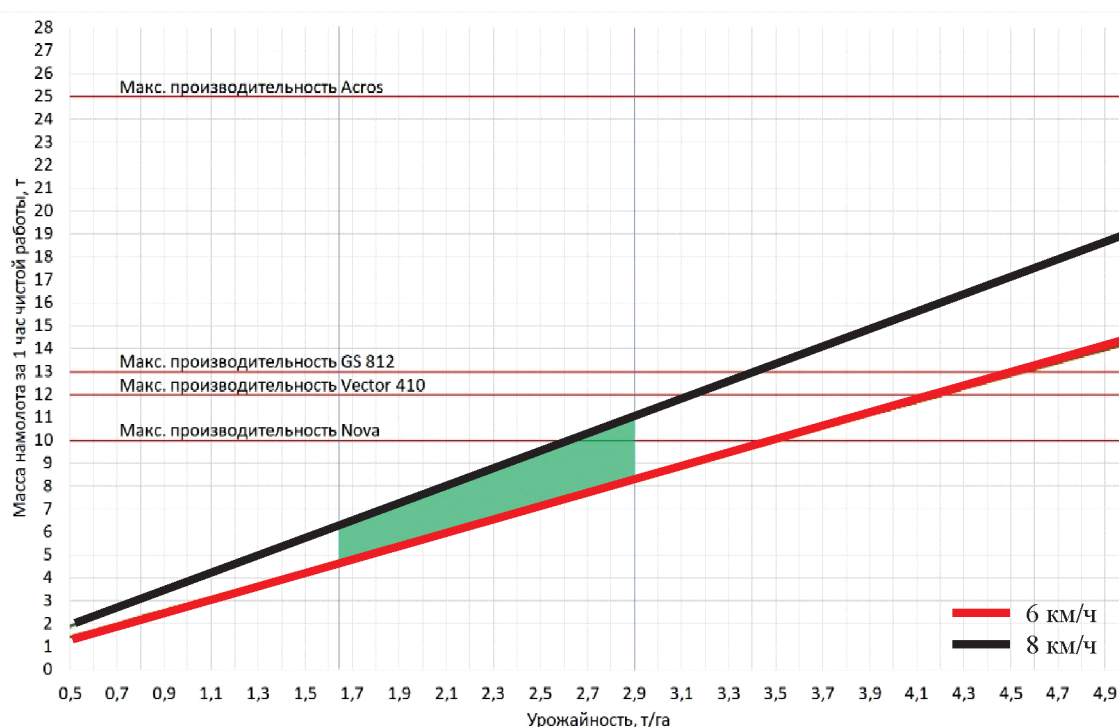


Рис. 4. Диаграмма для определения рационального состава уборочного агрегата при работе с жаткой шириной захвата 5 м в зависимости от урожайности и скорости движения комбайна

Fig. 4. Diagram for determining the rational composition of the harvesting unit when working with a reaper with a coverage of 5 m, depending on the yield and speed of the combine

за час чистой работы комбайна на рабочих скоростях от 6 до 8 км/ч, соответствующих реальным условиям эксплуатации зерноуборочных комбайнов в Сибири, при различной ширине захвата жаток на прямом комбайнировании. На диаграммах зеленой заливкой отмечен интервал производительности, лежащий в диапазоне рабочих скоростей от 6 до 8 км/ч и урожайности от 1,65 до 2,90 т/га. При построении диаграмм учтено, что в реальных полевых условиях используется не вся конструктивная ширина захвата жатки, а только около 0,95 ее величины.

Диаграммы для наглядности размечены горизонталями, соответствующими максимальной производительности по зерну для каждой из рассматриваемых моделей комбайнов. Учитывая то обстоятельство, что комплектование уборочного агрегата целесообразно начинать с выбора жатки максимально возможной ширины захвата, диаграммы в тексте расположены в порядке их убывания от 9 до 5 м.

В расчетах исходными условиями принят хлебостой без полегlostей, не требующий снижения рабочей скорости уборочного агрегата от номинальных значений.

Анализ представленных диаграмм показывает, что при урожайности ниже 1,75 т/га невозможно обеспечить загрузку комбайнов из рассматриваемого списка даже при использовании жаток с шириной захвата 9,0 и 9,2 м (см. рис. 1). При уборке зерновых с урожайностью от 1,75 до 2,88 т/га возможно использование нескольких моделей современных комбайнов, загрузку которых в оптимальных пределах возможно обеспечить комплектованием жатками соответствующей ширины: GS 12A1, GS 10 PRO – с жаткой шириной захвата 9,2 м; Vector 410 – с жаткой шириной захвата 9 м; GS 10 PRO, Vector 410, GS 812 PRO и Nova – с жатками шириной захвата 7 м; Vector 410, GS 812 PRO и Nova – с жатками шириной захвата 6 м. Очевидно, что для сокращения сроков уборки и расходов на проведение уборочных работ рационально применять комбайны с жатками большей ширины захвата. Отдавать предпочтение уборочным агрегатам с меньшей шириной захвата необходимо только в тех случаях, когда использование более широкозахватных машин затрудняется рельефом и конфигурацией полей.

Нецелесообразно использование жаток с шириной захвата 5 м при урожайности соответствующего диапазона как малопроизводительных, ведущих к затягиванию сроков уборки и требующих большего количества уборочных агрегатов. В этом случае загрузка даже самого малопроизводительного комбайна из рассматриваемого списка (Nova) достигается только лишь при скоростях движения от 7 до 8 км/ч.

Рассмотрение диаграмм также дает возможность расчетно-графическим методом получить данные, характеризующие оптимальную загрузку различных по составу уборочных агрегатов на уборке зерновых с урожайностью от 0,5 до 5,0 т/га. Однако при урожайности менее 1,75 т/га и скорости движения до 8 км/ч любой из рассматриваемых уборочных агрегатов будет работать в условиях неполной загрузки.

Результаты расчетов по определению рационального состава уборочного агрегата при различных уровнях урожайности сведены в табл. 3.

Результаты расчетов, представленные в табл. 3, показывают, что в условиях Сибирского региона, характеризующегося урожайностью зерновых культур от 1,65 до 2,9 т/га, уборку зерновых культур целесообразно проводить комбайнами GS 10 PRO с жаткой шириной захвата 9,2 м и Vector 410 с жаткой шириной захвата 9 м. При этом большая производительность будет обеспечена при использовании GS 10 PRO. Более производительные машины в этом диапазоне урожайности не получают загрузки, близкой к максимальной.

Руководствуясь данными табл. 3 по диапазону «минимальная – максимальная урожайность» и производительности по убранной площади, можно подобрать рациональный состав уборочного агрегата (комбайн + жатка). При этом наряду с уровнем урожайности дополнительно нужно учесть особенности рельефа и конфигурации полей в конкретном хозяйстве, которые, возможно, потребуют применения жаток меньшей ширины захвата и комбайна меньшей производительности.

Табл. 3. Рациональные составы уборочных агрегатов при уборке зерновых с различной урожайностью прямым комбайнированием и соответствующая им производительность по убранной площади

Table 3. Rational compositions of harvesting units when harvesting grain crops with different yields by direct combining and the corresponding productivity for the harvested area

Модель комбайна; ширина захвата жатки	Минимальная урожайность (уборка на скорости 8 км/ч), т/га	Максимальная урожайность (уборка на скорости 6 км/ч), т/га	Максимальная производительность по убранной площади, га/ч
<i>Жатка с шириной захвата 9,2 м</i>			
GS 10 PRO	2,4	3	5,2–7,0
GS 12A1	2,85	3,8	5,2–7,0
GS 2124	3,85	5,0	5,2–7,0
<i>Жатка с шириной захвата 9 м</i>			
Vector 410	1,75	2,35	5,1–6,8
Acros	3,65	4,85	5,1–6,8
<i>Жатка с шириной захвата 7 м</i>			
Nova	1,9	2,5	4,0–5,3
Vector 410	2,25	3,0	4,0–5,3
GS 812 PRO	2,45	3,25	4,0–5,3
GS 10 PRO	3,1	4,1	4,0–5,3
GS 12A1	3,7	4,9	4,0–5,3
<i>Жатка с шириной захвата 6 м</i>			
Nova	2,2	2,9	3,4–4,6
Vector 410	2,65	3,5	3,4–4,6
GS 812 PRO	2,85	3,8	3,4–4,6
GS 10 PRO	3,6	4,8	3,4–4,6
<i>Жатка с шириной захвата 5 м</i>			
Nova	2,65	3,5	2,9–3,8
Vector 410	3,15	4,2	2,9–3,8
GS 812 PRO	3,4	4,6	2,9–3,8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях Сибири при существующем уровне урожайности зерновых фактором, ограничивающим использование высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов, является ширина захвата жатки. На уборке зерновых с урожайностью, средней для Сибири (1,65–2,90 т/га), исходя из условий загрузки двигателя и молотильно-сепарирую-

щего устройства комбайна, целесообразно использовать комбайны с максимальной производительностью от 12 до 16 т/ч и жатками с шириной захвата 9,0–9,2 м. Использование в таких условиях более высокопроизводительных комбайнов экономически неоправданно, поскольку их технический потенциал в условиях частичной загрузки основных агрегатов остается нереализованным. Тем не менее такие машины могут найти применение в хозяйствах, где высоким уровнем применяемых технологий обеспечивается более высокий уровень урожайности, а также на подборе сдвоенных валков при двухфазной уборке.

Установлено, что при использовании жаток с шириной захвата 9 м с российскими моделями комбайнов и 9,2 м с белорусскими для проведения уборочных работ на хлебах с урожайностью, характерной для Сибири, рационально использовать Vector 410 при уровне урожайности 1,8–2,4 т/га, GS 812 PRO – 1,95–2,6 т/га, GS 10 PRO – 2,45–3,0 т/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. Формирование парка зерноуборочных комбайнов с учетом условий уборки // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2016. № 5 (75). С. 7–12.
2. Берещицкий Ю.И., Кастиди Ю.К., Тюпачков К.Э. Особенности экономической оценки зерноуборочной техники // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 111. С. 287–298.
3. Чепурин Г.Е. Зерноуборочному комбайну – технологический паспорт, полю – операционную карту // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 76–79.
4. Пронин В.М., Прокопенко В.А., Добрынин Ю.М. Критерии выбора зерноуборочных комбайнов // АгроСнабФорум. 2016. № 5 (144). С. 20–22.
5. Немченко А.В. Модернизация как залог роста конкурентоспособности сельскохозяйственного производства // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 4 (70). С. 31–33.
6. Чекусов М.С., Михальцов Е.М., Кем А.А., Шмидт А.Н., Даманский Р.В. Тракторы и ком-

байны в сельском хозяйстве Омской области // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (44). С. 251–260. DOI: 10.48136/2222-0364_2021_4_251.

7. Чекусов М.С., Кем А.А., Михальцов Е.М., Шмидт А.Н. Тенденции обеспеченности техникой АПК Омской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 1. С. 110–117.
8. Мишихожев А.А. Критерии для выбора зерноуборочного комбайна // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 2. № 55. С. 68–71.
9. Казаков А.В., Кошелев Р.В., Тюльнев А.В. К вопросу о целесообразности выбора зерноуборочных комбайнов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 1 (9). С. 38–41.
10. Ряднов А.И., Федорова О.А., Поддубный О.И. Совершенствование методики выбора зерноуборочных комбайнов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2 (38). С. 163–178. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-163-178.
11. Выбор зерноуборочного комбайна – географический вопрос? // Техника и оборудование для села. 2017. № 6. С. 8–9.
12. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Влияние ширины жатки на производительность зерноуборочного комбайна // Наука в центральной России. 2020. № 2 (44). С. 35–42. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-35-42.
13. Астафьев В.Л., Голиков В.А. Обоснование типажа зерноуборочных комбайнов и жаток, применяемых в регионах Казахстана // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 4. С. 10–15. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-10-15.
14. Чемоданов С.И., Бурлаков Ю.В. Обновление технических средств зерноуборочного комплекса // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 6. С. 95–101. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-6-11.

REFERENCES

1. Lomakin S.G., Berdyshev V.E. Formation of combine harvesters fleet with account of harvesting conditions. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina» = Vestnik of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P.*

- Goryachkin*", 2016, no. 5 (75), pp. 7–12. (In Russian).
2. Bershitsky Yu.I., Kastidi YU.K., Tyupakov K.E. Characteristics of economic assessment of combine harvesters. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2015, no. 111, pp. 287–298. (In Russian).
 3. Chepurin G.E. Technological certificate for a grain harvester, process chart for a field. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2017. T. 31, no. 6, pp. 76–79. (In Russian).
 4. Pronin V.M., Prokopenko V.A., Dobrynin Yu.M. Criteria for choosing combine harvesters. *AgroS-nabForum = AgroSnabForum*, 2016, no. 5 (144), pp. 20–22. (In Russian).
 5. Nemchenko A.V. Modernization as key to competitiveness growth of agricultural production. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = International Research Journal*, 2018, no. 4 (70), pp. 31–33. (In Russian).
 6. Chekusov M.S., Mihal'cov E.M., Kem A.A., Schmidt A.N., Damanskij R.V. Tractors and harvesters in agriculture of the Omsk region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk SAU*, 2021, no. 4 (44), pp. 251–260. (In Russian). DOI: 10.48136/2222-0364_2021_4_251.
 7. Chekusov M.S., Kem A.A., Mikhaltsov E.M., Schmidt A.N. Trends in machinery availability in Agro-Industrial Complex of Omsk region. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 1. pp. 110–117. (In Russian).
 8. Mishkhozhev A.A. Criteria for choosing a combine harvester. *NovaInfo.Ru*. 2016, vol. 2, no. 55, pp. 68–71. (In Russian).
 9. Kazakov A.V., Koshelev R.V., Tyul'nev A.V. To the question of the expediency of choosing grain harvesters. *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, 2016, no. 1 (9), pp. 38–41. (In Russian).
 10. Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Poddubnyj O.I. Improvement of the methodology for choosing grain harvesters. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, 2020, no. 2 (38), pp. 163–178. (In Russian). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-163-178.
 11. Is the choice of combine harvester a geographical issue? *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2017, no. 6, pp. 8–9. (In Russian).
 12. Erohin G.N., Konovskij V.V. Impact of the width of the header on the productivity of combine harvester. *Nauka v central'noj Rossii = Science in Central Russia*, 2020, no. 2 (44), pp. 35–42. (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-35-42.
 13. Astaf'ev V.L., Golikov V.A. Determining the range of combine harvesters and headers for Kazakhstan regions. *Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*, 2018, vol. 12, no. 4, pp. 10–15. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-10-15.
 14. Chemodanov S.I., Burlakov Yu.V. Update of the technical equipment of the grain-harvesting complex. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 6, pp. 95–101. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-6-11.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

(✉) **Михальцов Е.М.**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 644012, Омск, проспект Королева, 26; e-mail: mihalcov@anc55.ru

Чекусов М.С., кандидат технических наук, директор

Кем А.А., кандидат технических наук, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник

Шмидт А.Н., научный сотрудник

Даманский Р.В., научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

(✉) **Evgeny M. Mikhaltsov**, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher; **address:** 26, Korolev ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: mihalcov@anc55.ru

Maxim S. Chekusov, Candidate of Science in Engineering, Director

Alexander A. Kem, Candidate of Science in Engineering, Department Head, Lead Researcher

Andrey N. Schmidt, Researcher

Roman V. Damansky, Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 10.02.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 31.03.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-10>

УДК: 664.788/664.668.9

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ПОМОЛЬНОЙ СМЕСИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И АМАРАНТА НА ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПШЕНИЧНО-АМАРАНТОВОЙ МУКИ

(✉) Кандроков Р.Х., Кирюшин В.А., Прудникова А.С.

Российский биотехнологический университет

Москва, Россия

(✉) e-mail: nart132007@mail.ru

На российском рынке появился новый источник растительного сырья для пищевой промышленности – зерно амаранта и продукты его переработки, обладающие ценным химическим составом, высокой пищевой и биологической ценностью, содержащие широкий спектр физиологически функциональных пищевых веществ. Представлены исследования по влиянию различного соотношения помольной смеси зерна пшеницы и амаранта на химические и физико-химические свойства пшенично-амарантовой муки в результате их совместной переработки. Объектом исследования послужили зерно озимой пшеницы Немчиновская 85 и зерно амаранта Воронежский. Переработку контрольного образца мягкой пшеницы и помольных пшенично-амарантовых смесей различного процентного отношения проводили на мельницах лабораторного помола (МЛП-4) с нарезными (для драных систем) и гладкими микрошероховатыми вальцами (для размольных систем). Установлено, что в контрольном образце пшеничной муки средневзвешенное содержание жира и белка составило 1,12 и 11,57% соответственно, при добавлении 5% амаранта в помольную пшенично-амарантовую зерновую смесь средневзвешенное содержание жира в пшенично-амарантовой муке составило 2,47%, белка – 12,55%, при добавлении 10% амаранта – 3,13 и 12,66%, при добавлении 15% амаранта – 3,88 и 13,34%, при добавлении 20% амаранта – 4,29 и 13,78% соответственно. Выявлено, что добавление зерна амаранта в помольную пшенично-амарантовую смесь до 20% зерна амаранта существенно повышает выход пшенично-амарантовой муки. Установлено, что добавление в помольную зерновую смесь зерна амаранта позволяет повысить содержание жира в пшенично-амарантовой муке на 282,1% и на 18,4% содержание белка по сравнению с контрольной пшеничной мукой.

Ключевые слова: пшеница, амарант, помольная смесь, выход, пшенично-амарантовая мука, химические и физико-химические свойства

INFLUENCE OF WHEAT AND AMARANTH GRAIN MIXTURE RATIO ON CHEMICAL AND PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WHEAT-AMARANTH FLOUR

(✉) Kandrokov R.Kh., Kiryushin V.A., Prudnikova A.S.

Biotech University

Moscow, Russia

(✉) e-mail: nart132007@mail.ru

A new source of vegetable raw materials for the food industry has appeared on the Russian market - amaranth grain and products of its processing, which have a valuable chemical composition, high nutritional and biological value, containing a wide range of physiologically functional nutrients. The studies on the effect of different ratios of the grinding mixture of wheat and amaranth grains on the chemical and physico-chemical properties of wheat-amaranth flour as a result of their joint processing are presented. The object of the study was the grain of winter wheat of the variety Nemchinovskaya

85 and the grain of amaranth of the variety Voronezhsky. Processing of the control sample of common wheat and milling wheat-amaranth mixtures of various ratios was carried out in the laboratory grinding mills (LGM-4) with threaded (for break systems) and smooth microroughened rollers (for grinding systems). It has been found that in the control sample of wheat flour, the weighted average content of fat and protein was 1.12% and 11.57%, respectively, with the addition of 5% amaranth to the grinding wheat-amaranth grain mixture, the weighted average fat content in wheat-amaranth flour was 2.47 %, and the protein content - 12.55%, with the addition of 10% amaranth to the grinding wheat-amaranth grain mixture, the weighted average fat content of wheat-amaranth flour was 3.13%, and the protein content - 12.66%, with the addition of 15% amaranth in the milled wheat-amaranth grain mixture, the weighted average fat content in wheat-amaranth flour was 3.88%, and the protein content was 13.34%, with the addition of 20% amaranth to the milled wheat-amaranth grain mixture, the weighted average fat content in wheat-amaranth flour was 4.29%, and the protein content was 13.78%, respectively. It has been found that the addition of amaranth grain to the milled wheat-amaranth mixture up to 20% of amaranth grain significantly increases the yield of wheat-amaranth flour. It has been established that the addition of amaranth grain to the grinding grain mixture makes it possible to increase the fat content in wheat-amaranth flour by 282.1% and the protein content by 18.4% compared to the control wheat flour.

Keywords: wheat, amaranth, grinding mixture, yield, wheat-amaranth flour, chemical and physicochemical properties

Для цитирования: Кандроков Р.Х., Кирюшин В.А., Прудникова А.С. Влияние соотношения помольной смеси зерна пшеницы и амаранта на химические и физико-химические показатели пшенично-амарантовой муки // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 83–91. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-10>

For citation: Kandrokov R. Kh., Kiryushin V.A., Prudnikova A.S. Influence of wheat and amaranth grain mixture ratio on chemical and physicochemical parameters of wheat-amaranth flour. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 83–91. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-10>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

За последние 30 лет в структуре питания населения Российской Федерации произошло снижение сбалансированных белков животного происхождения на 20–25%, общей калорийности продуктов питания – на 10–15, животных жиров – на 65–70, высокобелковых продуктов растительного происхождения – на 25–30%¹.

На мировом и российском рынках появился сравнительно новый источник растительного сырья для пищевой, маслоэкстракционной и фармацевтической промышленности – зерно амаранта и продукты его переработки, обладающие ценным химическим составом, высокой пищевой и биологической ценностью, содержащие широкий спектр физиологически

функциональных пищевых веществ, что определяет перспективы их использования в технологии пищевых производств² [1–3].

Зерно амаранта превосходит по содержанию белка, аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов, биологически активных веществ и жира многие традиционные культуры, в том числе зерно пшеницы [4–6]. Амарант обладает ценным химическим составом: повышенным содержанием важнейшей лимитирующей незаменимой аминокислоты – лизина, высокой пищевой и биологической ценностью и является перспективным сырьем для использования в пищевой и перерабатывающей промышленности [7, 8]. Амарантовая мука содержит незаменимые аминокислоты, нерастворимые пищевые волокна, витамины группы РР,

¹Литвинова О.С. Структура питания населения Российской Федерации. Гигиеническая оценка // Здоровье населения и среда обитания. 2016. № 5 (278). С. 11–14.

²Медведева А.А., Невская Е.В. Исследование влияния крупки из шрота амаранта на свойства теста и качество хлебобулочных изделий из пшеничной муки // Научные труды КубГТУ: Электронный сетевой политематический журнал. 2019. № S9. С. 406–413.

минеральные вещества, сбалансированные по содержанию макроэлементов Са и Р³ [9–11].

Анализ различных литературных источников показывает целесообразность использования продуктов переработки амаранта в качестве обогащающей добавки в различные продукты питания^{4–8} [12–15].

Особо следует отметить, что в состав шрота амаранта входит уникальное вещество – сквален, который является сильным (эффективным) антиоксидантом⁹.

Исследования по определению мукомольных и хлебопекарных свойств пшенично-амарантовой помольной смеси в сравнении с помольной смесью из зерна пшеницы ни в России, ни за рубежом не проведены. В связи с этим составление помольных пшенично-амарантовых помольных смесей для получения пшенично-амарантовой муки повышенной пищевой и питательной ценности является актуальным.

Цель исследования – изучить влияние различного соотношения помольной смеси зерна пшеницы и амаранта на химические и физико-химические свойства потоков пшенично-амарантовой муки, полученных в результате их совместной переработки.

Задачи исследования:

– разработать лабораторную технологическую схему переработки пшенично-амарантовой помольной смеси;

– провести лабораторные помолы контрольного образца мягкой пшеницы, а также помольных смесей зерна пшеницы и амаранта в процентном отношении 95 : 5, 90 : 10, 85 : 15, 80 : 20 по разработанной технологической схеме;

– определить влияние содержания амаранта в помольной пшенично-амарантовой смеси на химические и физико-химические свойства отдельных потоков пшенично-амарантовой муки и в сравнении с контрольной пшеничной мукой, полученных по всем технологическим системам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследований послужили зерно озимой пшеницы Немчиновская 85 и амаранта Воронежский отечественной селекции [3]. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика химического состава зерна амаранта и мягкой озимой пшеницы.

Переработку контрольного образца мягкой пшеницы и помольных пшенично-амарантовых смесей различного соотношения проводили на мельницах лабораторного помола (МЛП-4) с нарезными (для драных систем) и гладкими микрошероховатыми вальцами (для размольных систем) [14].

При переработке всех образцов пшенично-амарантовых помольных зерновых смесей, в том числе и контрольного образца пшеницы, параметры и режимы измельчения на вальцовых станках оставались неизменными. Просеивание и отбор промежуточных продуктов измельчения пшенично-амарантовых смесей различного процентного отношения и высевание муки осуществляли на рассевах мельниц МЛП-4, состоящих из набора трех сит, в том числе двух крупочных и одного мучного с общей просеивающей поверхностью 720 см².

³Росляков, Ю.Ф., Шмалько Н.А., Бочкова Л.А. Перспективы использования амаранта в пищевой индустрии // Известия высших учебных заведений. Технические науки. 2004. № 4. С. 92–95.

⁴Шмалько Н.А., Уварова И.И., Росляков Ю.Ф. Амарантовая мука – антиоксидантная добавка для макаронных изделий, обогащенных бета-каротином // Известия вузов. Пищевая технология. 2004. № 5-6. С. 39–41.

⁵Джурко Ю.А., Парфенов А.А., Коренская И.М. Хромато-масс-спектрометрический анализ жирнокислотного состава шрота семян амаранта печального сорта воронежский // Вестник Пермской государственной фармацевтической академии. 2012. № 9. С. 167–168.

⁶Khandaker L., Ali M.B., Oba S. Total polyphenol and antioxidant activity of red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) as affected by different sunlight level // J. Jap. Soc. Hort. Sci. 2008. Vol. 77. N 4. P. 395–401.

⁷Gorinstein S., Vargas O.J., Jaramillo N.O., Salas I.A., Ayala A.L., Arancibia-Avila P., Toledo F., Katrich E., Trakhtenberg S. The total polyphenols and the antioxidant potentials of some selected cereals and pseudocereals // Eur. Food Res. Techn. 2007. Vol. 225. N 3-4. P. 321–328. DOI: 10.1007/s00217-006-0417-7.

⁸Gorinstein S., Lojek A., Ciz M., Pawelzik E., Delgado-Licon E., Medina O.J., Moreno M., Salas I.A., Goshev I. Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals // Int. J. Food Sci. Techn. 2008. Vol. 43. N 4. P. 629–637. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01498.x.

⁹Gamel T.H., Linssen J.P. Nutritional and medicinal aspects of amaranth // Recent Progress in Medicinal Plants. 2006. Vol. 15. N 5. P. 347–361.

Табл. 1. Химический состав зерна амаранта и пшеницы, %

Table 1. Chemical composition of amaranth and wheat grains, %

Культура	Белок	Жиры	Угле- воды	Клет- чатка	Зола	Вода
Амарант Воронеж- ский	17,6	6,8	56,2	6,2	2,6	10,6
Пшеница Немчинов- ская 85	12,3	1,7	68,4	2,0	1,73	14

Химические и физико-химические показатели потоков пшенично-амарантовой муки и контрольной пшеничной муки, полученных при всех драных и размольных системах, определяли на инфракрасном анализаторе зерна и муки SpectraStar 2500 XL (производства США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований провели лабораторные помолы контрольного образца мягкой пшеницы, а также помольных смесей зерна пшеницы и амаранта в процентном отношении 95 : 5, 90 : 10, 85 : 15, 80 : 20 по

разработанной технологической схеме. Всего получили 11 потоков пшенично-амарантовой и контрольной пшеничной муки, в том числе пяти драных и шести размольных систем.

Полученные результаты лабораторных помолов по влиянию содержания зерна амаранта в помольной пшенично-амарантовой смеси на выход пшенично-амарантовой муки в сравнении с выходом контрольной пшеничной муки представлены в табл. 2.

Выявлено, что добавление зерна амаранта в помольную смесь существенно повышает выход пшенично-амарантовой муки. При добавлении в помольную смесь 5% зерна амаранта выход пшенично-амарантовой муки составил 72,2%, 10% зерна амаранта – 73,7%, 15% зерна амаранта – 80,2%, 20% зерна амаранта – 82,7%, что на 8,4% выше по сравнению с выходом муки из контрольного образца пшеницы. Таким образом, наибольший выход пшенично-амарантовой муки получается при размоле помольной смеси зерна пшеницы и зерна амаранта в процентном отношении 80 : 20.

На втором этапе исследований определяли влияние содержания амаранта в помольной пшенично-амарантовой смеси на химические и физико-химические свойства отдельных по-

Табл. 2. Выход со всех технологических систем пшенично-амарантовой муки различного соотношения и контрольной пшеничной муки, %

Table 2. Yield from all technological systems of wheat-amaranth flour of different ratios and control wheat flour, %

Технологическая система лабораторной схемы	Выход пшенично-амарантовой муки				
	Помольная пшенично-амарантовая смесь в процентном отношении				Контрольный образец зерна мягкой пшеницы
	95 : 5	90 : 10	85 : 15	80 : 20	
Драная система:					
I	1,7	2,9	2,0	1,3	2,7
II	2,1	2,9	2,2	1,6	3,4
III	5,3	3,1	7,8	3,0	4,4
IV	2,1	2,3	2,6	1,7	2,6
V	0,7	0,8	0,7	0,9	1,3
Мука с драных систем	11,9	12,0	15,2	8,5	14,4
Размольная система:					
1-я	19,2	20,7	25,6	22,7	25,6
2-я	14,2	17,8	19,4	20,1	15,9
3-я	11,7	10,7	12,8	14,1	8,2
4-я	7,2	6,6	3,1	9,4	7,3
5-я	4,9	2,5	2,2	5,5	1,5
6-я	3,1	3,4	1,8	2,4	1,4
Мука с размольных систем	60,3	61,7	64,9	74,2	59,9
Всего муки	72,2	73,7	80,2	82,7	74,3

токов пшенично-амарантовой муки и в сравнении с контрольной пшеничной мукой, полученной при всех технологических системах (см. табл. 3).

С учетом общего выхода пшеничной муки средневзвешенное содержание жира во всех потоках составило 1,13%, белка – 11,61%. В потоках пшеничной муки на драных системах средневзвешенное содержание жира и белка составило 1,14 и 11,94%, на размольных – 1,12 и 11,53% соответственно.

Средневзвешенное содержание жира в потоках пшенично-амарантовой муки в про-

центном отношении 95 : 5 с учетом общего выхода составило 2,47%, белка – 12,55%. Средневзвешенное содержание жира и белка в потоках пшенично-амарантовой муки на драных системах в рассматриваемом варианте составило 2,45 и 12,53%, на размольных – 2,48 и 12,56% соответственно (см. табл. 4).

Средневзвешенное содержание жира в потоках пшенично-амарантовой муки в процентном отношении сырья 90 : 10 с учетом выхода на драных и размольных системах составило 3,12 и 3,14%, белка – 12,77 и 12,64% соответственно. Средневзвешенное содержа-

Табл. 3. Химические и физико-химические показатели потоков контрольной пшеничной муки, полученных со всех технологических систем

Table 3. Chemical and physicochemical parameters of control wheat flour streams obtained from all technological systems

Показатель муки	Драная система					Размольная система				
	I	II	III	IV	V	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я + 6-я
Липиды, %	1,01	1,03	1,11	1,09	1,14	1,12	1,08	1,17	1,15	1,22
Зольность, %	0,58	0,56	0,57	0,65	0,67	0,50	0,52	0,60	0,71	0,90
Клетчатка, %	1,20	1,22	1,06	1,10	1,18	1,12	1,15	1,33	1,46	1,61
Белок, %	11,39	11,20	11,89	12,15	12,42	11,41	11,45	11,60	11,76	12,32
Влажность, %	13,54	13,21	14,21	14,05	13,75	13,94	13,33	12,84	12,17	11,99
Крахмал, %	64,62	64,43	63,64	63,22	62,20	64,65	65,30	65,24	65,55	64,42
Белизна, ед. пр.	67,72	68,95	65,16	62,00	55,99	66,06	59,39	54,36	48,27	40,79
ИДК, у.е.	60,20	59,42	59,89	61,88	66,56	59,34	66,12	69,15	75,62	81,14
Клейковина, %	24,39	22,19	26,52	27,32	28,23	25,52	25,35	25,10	24,87	25,25
Общие волокна, %	2,88	3,31	2,61	2,96	3,25	2,68	3,08	3,40	3,64	4,00
Число падения, с	310,5	292,5	316,8	307,1	299,8	317,9	303,3	305,2	299,7	283,6

Табл. 4. Химические и физико-химические показатели потоков пшенично-амарантовой муки в процентном отношении 95 : 5, полученных со всех технологических систем

Table 4. Chemical and physicochemical parameters of wheat-amaranth flour streams as a percentage of 95 : 5 obtained from all technological systems

Показатель муки	Драная система					Показатель муки	Размольная система				
	I	II	III	IV	V		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я + 6-я
Липиды, %	2,37	2,41	2,46	2,51	2,57	Жир, %	2,41	2,45	2,51	2,53	2,61
Зольность, %	0,73	0,89	0,9	1,0	1,02	Зола, %	1,03	1,12	1,32	1,48	1,55
Клетчатка, %	1,51	1,66	1,45	1,58	1,57	Клетчатка, %	1,4	1,43	1,55	1,62	1,66
Белок, %	12,24	12,91	12,32	12,73	13,04	Протеин, %	12,32	12,42	12,57	12,91	13,07
Влажность, %	12,28	12,24	12,33	12,11	12,15	Влага, %	12,27	12,05	11,63	11,3	11,23
Крахмал, %	64,32	61,26	63,5	63,06	62,39	Крахмал, %	63,22	62,98	61,91	61,1	60,67
Белизна, ед. пр.	49,21	41,66	42,1	7,73	36,99	Белизна, ед. пр.	35,86	32,08	23,71	17,12	14,17
ИДК, у.е.	71,71	78,03	73,66	78,03	79,01	ИДК, у.е.	74,78	77,83	82,75	87,73	90,08
Клейковина, %	25,58	27,58	24,91	25,65	26,22	Клейковина, %	23,84	23,01	22,6	22,27	22,44
Общие волокна, %	3,95	4,02	3,81	4,04	4,19	Общие волокна, %	3,73	3,74	3,96	4,15	4,16
Число падения, с	293,28	279,66	298,93	281,79	275,95	Число падения, с	307,6	304,38	298,41	287,62	280,69

Табл. 5. Химические и физико-химические свойства потоков пшенично-амарантовой муки в процентном отношении 90 : 10, полученных со всех технологических систем

Table 5. Chemical and physicochemical properties of wheat-amaranth flour streams in the percentage ratio of 90 : 10 obtained from all technological systems

Показатель муки	Драная система					Размольная система				
	I	II	III	IV	V	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я + 6-я
Липиды, %	3,09	3,12	3,10	3,14	3,18	3,11	3,15	3,14	3,18	3,22
Зольность, %	1,27	0,87	0,9	0,98	1,04	1,05	1,14	1,29	1,41	1,56
Клетчатка, %	1,59	1,47	1,49	1,52	1,58	1,37	1,4	1,48	1,54	1,65
Белок, %	12,83	12,4	12,77	13,0	13,2	12,64	12,53	12,52	12,78	13,04
Влажность, %	11,75	12,3	12,39	12,4	12,3	12,51	12,18	11,74	11,47	11,21
Крахмал, %	61,7	63,7	63,1	62,4	61,3	61,67	61,57	61,64	61,15	60,12
Белизна, ед. пр.	26,5	43,3	41,3	37,5	34,5	34,4	30,69	24,6	19,07	13,1
ИДК, у.е.	84,5	74,7	75,7	78,6	81,3	75,8	78,05	80,8	85,01	89,9
Клейковина, %	24,0	25,1	26,3	27,1	27,7	24,7	23,57	22,6	22,4	22,5
Общие волокна, %	4,15	3,86	3,9	4,0	4,05	3,49	3,55	3,84	4,0	4,12
Число падения, с	277,4	291,2	285,0	276,5	273,0	305,0	304,4	304,3	298,2	287,5

Табл. 6. Химические и физико-химические свойства потоков пшенично-амарантовой муки в процентном отношении 85 : 15, полученных со всех технологических систем

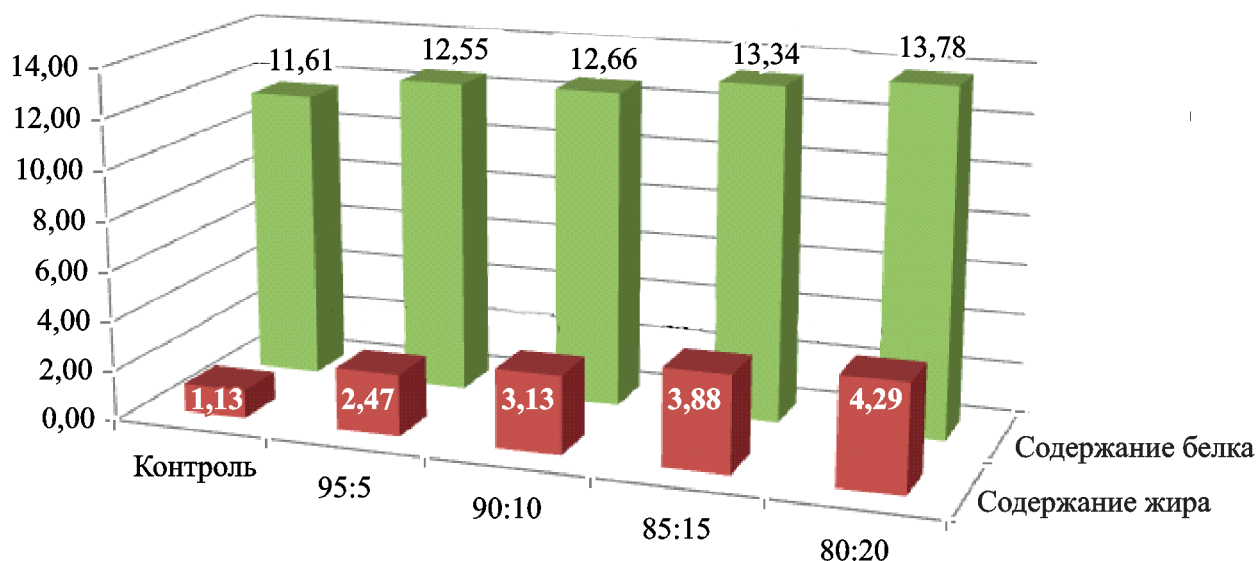
Table 6. Chemical and physicochemical properties of wheat-amaranth flour streams in the percentage ratio of 85 : 15 obtained from all technological systems

Показатель муки	Драная система					Размольная система				
	I	II	III	IV	V	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я + 6-я
Липиды, %	3,63	3,59	3,68	3,77	3,79	3,85	3,89	3,92	3,87	3,97
Зольность, %	1,14	1,07	1,15	1,25	1,31	1,46	1,53	1,64	1,74	1,95
Клетчатка, %	1,67	1,49	1,38	1,39	1,49	1,41	1,01	1,52	1,62	1,81
Белок, %	13,14	12,95	13,07	13,34	13,66	13,26	13,45	13,24	13,32	13,65
Влажность, %	11,28	12,13	12,52	12,55	12,26	11,89	11,26	11,21	10,76	10,15
Крахмал, %	62,2	62,89	61,06	59,77	59,45	60,88	61,99	61,04	61,28	61,35
Белизна, ед. пр.	20,31	34,97	31,06	26,3	23,5	16,45	13,05	8,74	4,09	0,0
ИДК, у.е.	90,82	8/0,49	79,92	83,6	87,42	23,17	92,92	93,39	97,27	105,84
Клейковина, %	23,62	24,43	25,09	25,79	26,45	23,17	22,13	21,66	21,08	20,8
Общие волокна, %	4,33	3,98	3,69	3,78	4,01	3,82	4,79	3,98	4,1	4,44
Число падения, с	265,4	273,7	282,3	270,4	259,5	276,7	271,1	278,4	274,8	260,2

Табл. 7. Химические и физико-химические свойства потоков пшенично-амарантовой муки в процентном отношении 80 : 20, полученных со всех технологических систем

Table 7. Chemical and physicochemical properties of wheat-amaranth flour streams in the percentage ratio of 80 : 20 obtained from all technological systems

Показатель муки	Драная система					Размольная система				
	I	II	III	IV	V	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я + 6-я
Липиды, %	4,07	4,17	4,21	4,35	4,47	4,12	4,29	4,32	4,41	4,58
Зольность, %	1,44	1,48	1,51	1,49	1,55	1,62	1,96	2,08	2,34	2,73
Клетчатка, %	1,67	1,5	1,49	1,58	1,69	1,55	1,64	1,8	1,91	2,15
Белок, %	12,51	12,54	13,02	13,44	13,81	13,46	13,79	13,70	14,21	14,26
Влажность, %	10,65	11,67	12,08	11,97	11,72	11,75	11,01	10,47	10,06	9,43
Крахмал, %	64,82	64,3	62,22	60,86	59,81	59,08	58,39	58,15	57,21	56,23
Белизна, ед. пр.	18,35	34,27	32,32	25,04	17,51	11,0	10,0	0,0	0,0	0,0
ИДК, у.е.	94,95	83,04	81,98	87,24	93,15	90,4	99,52	102,8	110,4	124,4
Клейковина, %	23,54	24,76	25,57	26,19	26,88	23,41	21,15	20,58	20,42	20,84
Общие волокна, %	4,62	4,26	4,11	4,21	4,39	3,97	4,2	4,21	4,35	4,81
Число падения, с	265,1	269,6	267,1	255,9	245,3	273,3	265,2	271,3	258,1	226,9



Зависимость содержания зерна амаранта в помольной смеси на количество жира и белка в пшенично-амарантовой муке различного процентного отношения в сравнении с контрольной пшеничной мукой, %

Dependence of amaranth grain content in the milling mixture on the amount of fat and protein in wheat-amaranth flour of different percentages compared with the control wheat flour, %

ние жира и белка в потоках пшенично-амарантовой муки по всем системам в рассматриваемом варианте – 3,13 и 12,66% соответственно (см. табл. 5).

Средневзвешенное содержание жира в потоках пшенично-амарантовой муки в процентном отношении 85 : 15 с учетом выхода составило 3,84%, белка – 13,30%. Средневзвешенное содержание жира и белка в потоках пшенично-амарантовой муки на драных системах – 3,71 и 13,22%, на размольных системах – 3,88 и 13,34% соответственно (см. табл. 6).

Средневзвешенное содержание жира в потоках пшенично-амарантовой муки в соотношении 80 : 20 с учетом выхода составило 4,28%, белка – 13,70%. Средневзвешенное содержание жира и белка в потоках пшенично-амарантовой муки на драных системах – 4,24 и 13,02%, на размольных – 4,29 и 13,78% соответственно (см. табл. 7).

На рисунке представлена зависимость содержания зерна амаранта в помольной смеси на содержание жира и белка в пшенично-амарантовой муке различного соотношения в сравнении с контрольной пшеничной. Из графика видно, что добавление в помольную зерновую смесь зерна амаранта позволяет повысить содержание жира в пшенично-амаран-

товой муке на 282,1% и на 18,4% содержание белка по сравнению с контрольной пшеничной мукой.

ВЫВОДЫ

1. Добавление в помольную зерновую смесь зерна амаранта оказывает положительное влияние на крупобразующую способность и приводит к увеличению выхода пшенично-амарантовой муки. При добавлении в помольную пшенично-амарантовую зерновую смесь 5% зерна амаранта выход муки составил 72,2%, 10% зерна амаранта – 73,7%, 15% зерна амаранта – 80,2%, 20% зерна амаранта – 82,7%. Наибольший выход пшенично-амарантовой муки получается при размоле зерна пшеницы и зерна амаранта в процентном отношении 80 : 20, что на 8,4% выше по сравнению с выходом муки из контрольного образца пшеницы.

2. Добавление зерна амаранта в помольную пшенично-амарантовую зерновую смесь повышает содержание жира и белка во всех потоках пшенично-амарантовой муки, полученных как с драных, так и с размольных систем. По сравнению с контрольным образцом пшеничной муки содержание жира и белка составило 1,12 и 11,57% соответственно, при добавлении 5% амаранта средневзвешенное содержание жира – 2,47%, белка – 12,55%, 10% амаранта содержание жира – 3,13%, белка – 12,66%,

15% амаранта содержание жира – 3,88%, белка – 13,34%, 20% амаранта содержание жира – 4,29%, белка – 13,78%.

3. Добавление в помольную зерновую смесь зерна амаранта позволяет повысить содержание жира в пшенично-амарантовой муке на 282,1%, белка – на 18,4% по сравнению с контрольной пшеничной мукой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехина Н.Н., Пономарева Е.И., Жаркова И.М., Гребеничиков А.В. Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 2. С. 323–332. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-323-332.
3. Туракулов Э. Применение нетрадиционных растительных масел и муки для приготовления кондитерских и хлебобулочных изделий на основе амаранта // *Наука и технология XXI века*. 2020. № 1 (1). С. 162–168.
3. Кидяев С.Н., Литвинова Е.В., Джамалов Н.К. Амарант как нетрадиционный источник белка для мясных продуктов // *Мясные технологии*. 2017. № 11 (179). С. 40–43.
4. Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Разработка пищевого концентрата – полуфабриката безглютеновых кексов с амарантовой мукой // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. № 2. С. 36–45. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-2-36-45.
5. Колпакова В.В., Тихомирова Н.А., Гайворонская И.С., Лукин Н.Д. Кисломолочный продукт геронтологического назначения на основе компонентов переработки амарантовой муки // *Пищевые системы*. 2018. Т. 1. № 1. С. 35–45. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-1-35-45.
6. Плужникова П.А., Егорова Е.Ю. Влияние фруктовых компонентов на качество и пищевую ценность кексов с амарантовой мукой // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019. № 1 (367). С. 46–50. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.1.11.
7. Никонорова Ю.Ю., Волкова А.В., Казарина А.В. Изучение потребительских свойств хлеба из пшеничной муки высшего и первого сортов с добавлением амарантовой муки // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 12 (165). С. 165–171. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-165-171.
8. Скобельская З.Г., Балыхин М.Г., Хасанова С.Д., Гинс М.С. Применение амарантовой муки в производстве вафельных листов повышенной пищевой ценности // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 6. С. 92–96. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10618.
9. Курако У.М., Левина Т.Ю. Амарантовая мука в производстве мясных продуктов // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2021. № 5 (70). С. 43–48. DOI: 10.33979/2219-8466-2021-70-5-43-48.
10. Трemasов Е.Н., Губернаторов В.В., Воронин А.Е., Илалова Г.Ф. Сверхкритическая экстракция сквалена из семян амаранта // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2017. № 4. С. 46–52.
11. Жаркова И.М., Лавров С.В., Самохвалов А.А., Гребеничиков А.В., Мирошниченко Л.А. Разработка функциональных пищевых продуктов для безглютенового и геродического питания, в том числе для профилактики остеопороза // *Хлебопродукты*. 2019. № 12. С. 53–55.
12. Шарипов П.Р., Хасанов Х.Т. Антимикробная активность пептидов, полученных из белков семян амаранта и других продуктов переработки амарантового зерна // *Universum: технические науки*. 2022. № 5-7 (98). С. 19–23.
13. Терехова А.Ю., Мецзякова О.Л., Мальцева О.Ю. Получение белкового концентрата из амаранта // *Актуальная биотехнология*. 2017. № 2 (21). С. 208.
14. Кандроков Р.Х., Рындин А.А., Волгаев С.Р. Влияние соотношения помольной смеси зерна пшеницы и зерна амаранта на крупнообразующую способность // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 6 (108). Ч. 3. С. 91–94. DOI: 10.23670/2021.108.6.075.
15. Karaeva Ju.V., Timofeeva S.S. Possibilities of obtaining biogas from manure and amaranth // *Engineering Technologies and Systems*. 2021. Vol. 31. N 3. P. 336–348. DOI: 10.15507/2658-4123.031.202103.336-348.

REFERENCES

1. Alekhina N.N., Ponomareva E.I., Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V. Assessment of functional properties and safety indicators of amaranth flour grain bread. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, no. 2, pp. 323–332. (In Russian). DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-323-332.
2. Turakulov E. Application of non-conventional vegetable oils and flour for preparation of confectionery and bakery products based on amaranth. *Nauka i tekhnologiya XXI veka = Science and Technology of the XXI century*, 2020, no. 1 (1), pp. 162–168. (In Russian).
3. Kidyayev S.N., Litvinova E.V., Dzhamalov N.K. Amaranth as an unconventional source of protein

- for meat products. *Myasnye tekhnologii = Meat technology*, 2017, no. 11 (179), pp. 40–43. (In Russian).
4. Egorova E.Yu., Reznichenko I.Yu. Development of food concentrate – semi-finished product with amaranth flour for gluten-free cupcakes. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Food Processing: Techniques and Technology*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 36–45. (In Russian). DOI: 10.21603/2074-9414-2018-2-36-45.
 5. Kolpakova V.V., Tikhomirova N.A., Gaivoronskaya I.S., Lukin N.D. Fermented dairy product for gerontological purposes based on amaranth processed products. *Pishchevye sistemy = Food Systems*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 35–45. (In Russian). DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-1-35-45.
 6. Pluzhnikova P.A., Egorova E.Yu. Effect of fruit components on the quality and nutritional value of cupcakes with amaranth flour. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya = Izvestiya vuzov. Food Technology*, 2019, no. 1 (367), pp. 46–50. (In Russian). DOI: 10.26297/0579-3009.2019.1.11.
 7. Nikonorova Yu.Yu., Volkova A.V., Kazarina A.V. Studying consumer properties of bread from wheat flour of the highest and first grades with addition of amaranth flour. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2020, no. 12 (165), pp. 165–171. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-165-171.
 8. Skobelskaya Z.G., Balykhin M.G., Khasanova S.D., Gins M.S. Application of amaranth flour in the production of wafer sheets of high nutritional value. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no. 6, pp. 92–96. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10618.
 9. Kurako U.M., Levina T.Yu. Amaranth flour in the production of meat products. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov = Technology and merchandising of the innovative foodstuff*, 2021, no. 5 (70), pp. 43–48. (In Russian). DOI: 10.33979/2219-8466-2021-70-5-43-48.
 10. Tremasov E.N., Governors V.V., Voronin A.E., Ilalova G.F. Supercritical extraction of squalene from amaranth seeds. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' = Derevoobrabativayushaya promyshlennost*, 2017, no. 4, pp. 46–52. (In Russian).
 11. Zharkova I.M., Lavrov S.V., Samokhvalov A.A., Grebenshchikov A.V., Miroshnichenko L.A. Development of functional food products for gluten-free and heroic nutrition, including for the prevention of osteoporosis. *Khleboprodukty = Khleboprodukty*, 2019, no. 12, pp. 53–55. (In Russian).
 12. Sharipov P.R., Khasanov Kh.T. Antimicrobial activity of peptides produced from amaranth seed proteins and other amaranth grain processing products: *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: technical sciences*, 2022, no. 5-7 (98), pp. 19–23. (In Russian).
 13. Terekhova A.Yu., Meshcheryakova O.L., Maltseva O.Yu. Obtaining protein concentrate from amaranth. *Aktual'naya biotekhnologiya = Actual biotechnology*, 2017, no. 2 (21), p. 208. (In Russian).
 14. Kandrov, R.Kh. Ryndin A.A., Volgaev S.R. Influence of the ratio of the wheat grain and amaranth grain mill grist on the grain-forming ability. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*, 2021, no. 6 (108), Part 3, pp. 91–94. (In Russian). DOI: 10.23670/2021.108.6.075.
 15. Karaeva Ju.V., Timofeeva S.S. Possibilities of obtaining biogas from manure and amaranth. *Engineering Technologies and Systems*, 2021, vol. 31, no. 3, pp. 336–348. DOI: 10.15507/2658-4123.031.202103.336-348.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Кандроков Р.Х.**, кандидат технических наук, доцент; **адрес для переписки:** Россия, 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11; e-mail: nart132007@mail.ru

Кирюшин В.А., аспирант; e-mail: agrogetti@gmail.com

Прудникова А.С., магистрант; e-mail: anyutka.prudnikova@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Roman Kh. Kandrov**, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor; **address:** 11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russia; e-mail: nart132007@mail.ru

Valentin A. Kiryushin, Postgraduate Student; e-mail: agrogetti@gmail.com

Anna S. Prudnikova, Master's Degree Student; e-mail: anyutka.prudnikova@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 12.03.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 14.06.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-11>

УДК: 636.082.12

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ У ЖИВОТНЫХ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *CAMELUS*

Тыщенко В.И., (✉) Терлецкий В.П.

*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики
и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Всероссийского института
животноводства им. академика Л.К. Эрнста
Санкт-Петербург, п. Тярлево, Россия
(✉) e-mail: valeriter@mail.ru*

Представлены данные о генетической изменчивости геномной ДНК двух видов верблюдов (дромедар и бактриан). Отмечено, что указанные виды имеют большое значение в ряде южных стран – используются как сельскохозяйственные, тягловые, верховые и спортивные животные. В настоящее время изучению верблюдов уделяется большое внимание с целью выявления их генетических особенностей, которые можно использовать в селекционной работе. Одним из методов исследования является мультилокусный анализ с применением меченых олигонуклеотидных зондов. Последние избирательно гибридизуются в отдельных участках геномной ДНК, приводя к формированию специфических генетических профилей, характерных для каждой особи. Мечение зонда дезоксигенином позволяет детектировать результаты гибридизации на фильтре. После проведения реакции молекулярной гибридизации зонда с геномной ДНК верблюдов было выявлено от 3 до 15 фрагментов ДНК, при этом картина гибридизации сильно отличалась у дромедаров и бактрианов, что свидетельствует о значительной генетической разнице в организации их геномов. Коэффициент сходства особей внутри популяции у бактрианов был существенно выше, чем у дромедаров (0,48 против 0,39), коэффициент межвидового сходства по этому параметру составил всего 0,13. Расчет генетического расстояния между популяциями дал довольно высокое значение – 0,305, что намного выше, чем ранее полученные данные по крупному рогатому скоту (от 0,05 до 0,10). Внутрипопуляционное генетическое разнообразие оценивали по критерию средней гетерозиготности. Расчеты показали большее генетическое разнообразие в популяции дромедаров ($H = 0,72$), что косвенно подтверждалось и более низким значением коэффициента сходства в этой группе животных.

Ключевые слова: бактриан, дромедар, генетическое разнообразие, олигонуклеотидный зонд

ASSESSMENT OF GENETIC DIFFERENCES IN ANIMALS AS EXEMPLIFIED BY REPRESENTATIVES OF THE GENUS *CAMELUS*

Tyshchenko V.I., (✉) Terletskiy V.P.

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding -
Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
Tyarlevo, Saint Petersburg, Russia
(✉) e-mail: valeriter@mail.ru*

Data on the genetic variability of genomic DNA from two species of camels (Dromedary and Bactrian) are presented. It is noted that these animal species are of great importance in a number of southern countries, they are used as farm animals (milk, meat, wool), as draft, riding and sports animals. At present, much attention is paid to the study of camels in order to identify their genetic characteristics that can be used in breeding work. One of the research methods is multilocus analysis using labeled oligonucleotide probes. The latter selectively hybridize in separate regions of genomic

DNA, leading to the appearance of specific genetic profiles characteristic of each individual. Labeling the probe with digoxigenin makes it possible to detect the results of hybridization on the filter. After the reaction of molecular hybridization of the probe with genomic DNA of camels, from 3 to 15 DNA fragments were detected, while the pattern of hybridization was very different in Dromedaries and Bactrians, which indicates a significant genetic difference in the organization of genomes. The coefficient of similarity of individuals in Bactrians was significantly higher than in Dromedaries (0.48 versus 0.39); interspecific similarity coefficient in this parameter was only 0.13. The calculation of the genetic distance between populations gave a rather high value of 0.305, which is significantly higher than the previously obtained data on cattle (from 0.05 to 0.10). Intrapopulation genetic diversity was assessed by the criterion of average heterozygosity. Calculations showed greater genetic diversity in the dromedary population ($H = 0.72$), which was indirectly confirmed by a lower similarity coefficient in this group of animals.

Keywords: Bactrian camel, Dromedary camel, genetic diversity, oligonucleotide probe

Для цитирования: Тыщенко В.И., Терлецкий В.П. Оценка генетических различий у животных на примере представителей рода *Camelus* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 92–97. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-11>

For citation: Tyshchenko V.I., Terletskiy V.P. Assessment of genetic differences in animals as exemplified by representatives of the genus *Camelus*. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 92–97. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0445-2021-0010). Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры акушерства, хирургии и биотехнологии воспроизводства животных Казахского национального аграрного исследовательского университета (Республика Казахстан), в особенности заведующему кафедрой Е.С. Усенбекову, за предоставление биоматериала животных.

Acknowledgements

The work was accomplished with the support of the state task 0445-2021-0010. The authors express their gratitude to the staff of the Department of Obstetrics, Surgery and Biotechnology of Animal Reproduction of KazNARU (Republic of Kazakhstan), in particular to the Head of the Department Ussenbekov E.S., for taking biomaterial from animals.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время считается, что в природе существуют три вида верблюдов – одногорбый (дромедар), двугорбый (бактриан) и дикий верблюд. Первые два вида широко используются во многих южных государствах, особенно в странах арабского мира, для получения сельскохозяйственной продукции (молока, мяса, шерсти) и имеют большое социальное значение для населения [1, 2]. Из верблюжьего молока изготавливают шубат (кисломолочный напиток, обладающий многими ценными свойствами). Шубат, в отличие от кумыса, является более густым и имеет белый цвет. Молочная продуктивность верблюдов, несмотря на скудный рацион их питания, может достигать 2000 л за сезон [3].

В мире растет интерес к верблюжьему молоку и продуктам, которые можно получить из него¹.

В современном животноводстве активно применяются достижения молекулярной генетики. В частности, геномная селекция стала использоваться во многих странах. На данном этапе в отношении верблюдов до сих пор не установлены фенотипические стандарты пород [4]. Указанный факт еще раз подчеркивает важность реализации генетических подходов при изучении этих животных с целью создания основ для дальнейшей геномной селекции. Ведутся исследования, посвященные влиянию полиморфных вариантов отдельных генов на различные хозяйственно полезные признаки, для применения полученных данных в селекции. К числу таких генов относят

¹Rahman N., Xiaohong C., Meiqin F., Mingsheng D. Characterization of the dominant microflora in naturally fermented camel milk shubat // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2009. Vol. 25. P. 1941–1946.

гены каппа-казеина, диацилглицерол-ацил-трансферазы 1 (DGAT1), лактоглобулина, миостатина и т.д.² Например, установлено, что у верблюдов ген *CSN2* каппа-казеина является самым полиморфным из всего семейства казеиновых генов и имеет 91 вариант [5]. В ряде случаев удается выявить ассоциации между генетическим полиморфизмом в отдельных генах и хозяйственно полезными признаками. Такие работы есть по вариантам гена каппа-казеина и гена *FGF5*, связанного с формированием длины волосяного покрова у верблюдов. Установлено, что единственная миссенс-мутация (замена С > Т) привела к статистически достоверному изменению длины шерстного покрова [6].

В животноводстве особое внимание уделяется изучению популяционно-генетических параметров с целью уточнения истории создания пород и популяций, реконструирования исчезнувших пород, определения направления текущей селекционной работы и генетического разнообразия в популяциях, использования в программах по сохранению генофонда [7, 8]. Иногда обнаруживается четкая генетическая обособленность популяций верблюдов в зависимости от страны разведения. Так, М.А. Nomas et al. [9] в рамках мультилокусного подхода была выявлена дифференциация популяций верблюдов в Саудовской Аравии по отношению к животным из других стран.

Геномная ДНК исследуется различными методами, включающими секвенирование (полногеномное либо отдельных участков) [10], использование полиморфизма в микросателлитной ДНК³ [11] и чиповых технологий скринирования генома по множеству локусов одновременно (SNPs). Хорошо изучен полиморфизм на уровне ДНК, выявляемый как точечные мутации в каких-либо генах. Гораздо более полезными в плане исследования полиморфизма последовательностей ДНК на популяционном уровне оказались гипервариабельные участки генома. Их отли-

чают наличие разных аллельных вариантов (высокая частота встречаемости) у разных особей в популяции и значительная скорость мутирования (см. сноску 3).

Проводятся работы по изучению полиморфизма в митохондриальной ДНК. В индийской популяции верблюдов выявлен высокий уровень разнообразия участков митохондриального генома, который превышал показатели других популяций [12].

Существование разных видов верблюдов поставило вопрос об их генетической близости. Эта проблема может быть решена методами генетики. Известно, что двугорбого верблюда (бактриана) и одногорбого (дромедара) относят к разным видам, несмотря на то, что они способны скрещиваться друг с другом. Поэтому некоторые исследователи считают их представителями одного вида, но разных пород.

Цель исследования – сравнительная оценка генетического разнообразия двух видов верблюдов.

Задачи:

- 1) взятие биоматериала (крови) у верблюдов обоих видов;
- 2) выделение высокомолекулярной геномной ДНК из имеющихся образцов;
- 3) проведение мультилокусного генетического анализа с целью расчета основных популяционно-генетических параметров, характеризующих экспериментальные выборки животных;
- 4) оценка полученных результатов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования – одногорбые и двугорбые верблюды (по 18 особей в каждой группе), разводимые в фермерском хозяйстве «Даулет-Бекет», расположенном в Илийском районе Алма-Атинской области Республики Казахстан. ДНК выделяли из венозной крови животных общепринятыми методами, включающими осаждение фракции лейкоцитов, лизис клеток с помощью детергента

²Pauciullo A., Giambra I.J., Iannuzzi L., Erhardt G. The β -casein in camels: molecular characterization of the *CSN2* gene, promoter analysis and genetic variability // Gene. 2014. Vol. 547. N 1. P. 159–168.

³Киселева Т.Ю., Кантанен Дж., Воробьев Н.И., Подоба Б.Е., Терлецкий В.П. Неравновесие по сцеплению микросателлитных локусов у шести локальных популяций крупного рогатого скота // Генетика. 2014. Т. 50. № 4. С. 406–414.

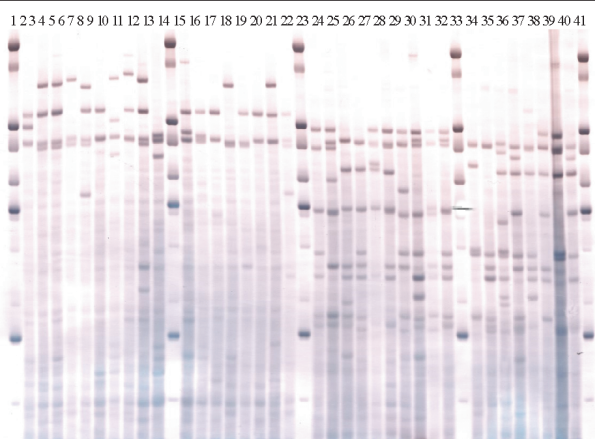
(додецилсульфата натрия), фенольную депротенинизацию. Осаждение ДНК проводили этанолом. Выпавший осадок еще раз промывали в 70%-м этаноле, подсушивали и растворяли в 400 мкл буфера TE (10 mM трис + 1 mM ЭДТА, pH 8,0). Количество и качество ДНК оценивали с помощью спектрофотометра NanoDrop2000.

В качестве молекулярного зонда использовали олигонуклеотид (GTG)₅, который содержал метку дезоксигенина. Геномную ДНК расщепляли эндонуклеазой рестрикции *Hae*III, электрофорез проводили в трис-ацетатном буфере, разделенные по размеру фрагменты ДНК переносили на нейлоновый фильтр. После фиксации ДНК на фильтре последний помещали в ванночку для проведения реакции молекулярной гибридизации. ДНК-зонд комплементарно связывался с соответствующими участками геномной ДНК на фильтре. После отмывки от не включившейся метки в ванночку вносили раствор для иммунохимической детекции дезоксигенина. Проявившиеся фрагменты ДНК с меткой в виде темных полос визуализировали, подсчитывали количество общих и различающихся полос (попарно на всех электрофоретических дорожках). Далее, используя компьютерную программу GelStats, рассчитывали популяционно-генетические параметры (гетерозиготность, генетическое расстояние, частоты аллелей).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе эксперимента после проведения реакции молекулярной гибридизации на фильтре детектировали от 5 до 12 фрагментов ДНК, число и распределение которых являются характерными для каждой особи (см. рисунок). Дорожки 2–11 и 13–20 – результат анализа верблюдов дромедар; 22–31 и 33–40 – верблюдов бактриан. На 1, 12, 21, 32 и 41-й дорожках показан маркер длин фрагментов ДНК. Диапазон длин фрагментов маркерной ДНК составлял от 500 до 23 000 пар оснований ДНК. Установлено, что в группе бактрианов выявилось существенно большее число фрагментов ДНК.

Попарное сравнение количества общих фрагментов ДНК между популяциями пока-



ДНК-фингерпринтинг геномной ДНК верблюдов обеих групп

DNA fingerprinting of the genomic DNA of camels of two groups

зало крайне низкое значение коэффициента межпопуляционного сходства (0,13), в то время как коэффициент внутривидового сходства достигал 0,39 для дромедаров и 0,48 для бактрианов (см. табл. 1). Расчет генетического расстояния между популяциями дал довольно высокое значение – 0,305, что намного выше, чем ранее полученные показатели при сравнении разных пород крупного рогатого скота.

Расчет средней гетерозиготности показал большее генетическое разнообразие в популяции дромедаров ($H = 0,72$), что косвенно подтверждалось и низким значением коэффициента сходства в этой группе животных (см. табл. 2). Бактрианы отличались большей

Табл. 1. Популяционно-генетические параметры исследуемых популяций верблюдов по данным ДНК-фингерпринтинга

Table 1. Population and genetic parameters of the studied camel populations according to DNA fingerprinting data

Вид	<i>n</i>	Число полос на одну дорожку ($\bar{X} \pm m$)	<i>P</i>	BS ¹	BS ²	<i>D</i>
Дромедар	18	$3,44 \pm 0,27$	$3,81 \times 10^{-2}$	0,39		
Бактриан	18	$7,61 \pm 0,34$	$3,55 \times 10^{-3}$	0,48	0,13	0,305

Примечание. *P* – вероятность встречаемости идентичного набора всех фрагментов ДНК в сравниваемых парах особей; BS¹ – коэффициент внутривидового сходства; BS² – коэффициент межпопуляционного сходства; *D* – генетическое расстояние между популяциями.

Табл. 2. Характеристика внутрипопуляционного генетического разнообразия верблюдов

Table 2. Characteristics of intra-population genetic diversity in camels

Вид	<i>n</i>	Число локусов	Число аллелей	Число полиморфных локусов	Средняя гетерозиготность
Дромедар	18	2,01	9,46	1,00	0,72
Бактриан	18	4,55	5,49	1,00	0,67

однородностью по генетическим параметрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные данные показывают, что две сравниваемые популяции верблюдов характеризуются значительным генетическим различием. При этом однородные верблюды имеют большее разнообразие по генетическим критериям внутри своей популяции. Как видим, ДНК-фингерпринтинг с меченым ДНК-зондом может применяться для оценки генетического разнообразия у верблюдов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баймуханов Д.А., Юлдашбаев Ю.А., Исхан К.Ж., Демин В.А. Концепция развития продуктивного и племенного верблюдоводства Республики Казахстан на 2021–2030 гг. // Аграрная наука. 2020. № 7–8. С. 52–60. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-52-60.
2. Eltanany M., Elfaroug S.O., Distl O. Assessment of genetic diversity and differentiation of two major camel ecotypes (*Camelus dromedarius*) in Sudan using microsatellite markers // Archives Animal Breeding. 2015. Vol. 58. N 2. P. 269–275. DOI: 10.5194/aab-58-269-2015.
3. Баймуханов Д.А. Селекционно-генетические параметры продуктивности верблюдоматок казахского дромедара // Аграрная наука. 2017. № 11–12. С. 47–49.
4. Al Askar H., Alhajeri B.H., Almathen F., Alhaddad H. Genetic diversity and population structure of Dromedary camel types // Journal of Heredity. 2020. Vol. 111. N 4. P. 405–413. DOI: 10.1093/jhered/esaa016.
5. Mutery A.A., Rais N., Mohamed W.K., Abdelaziz T. Genetic diversity in casein gene cluster in a Dromedary camel (*C. dromedarius*) Population from the United Arab Emirates // Genes (Basel). 2021. Vol. 12. N 9. P. 1417. DOI: 10.3390/genes12091417.

6. Maraqa T., Alhajeri B.H., Alhaddad H. FGF5 missense mutation is associated with Dromedary hair length variation // Animal Genetics. 2021. Vol. 52. N 6. P. 848–856. DOI: 10.1111/age.13132.
7. Burger P.A., Ciani E., Faye B. Old World camels in a modern world – a balancing act between conservation and genetic improvement // Animal Genetics. 2019. Vol. 50. N 6. P. 598–612. DOI: 10.1111/age.12858.
8. Sharma R., Ahlawat S., Sharma H., Prakash V., Khatak S., Sawal R.K., Tantiya M.S. Identification of a new Indian camel germplasm by microsatellite markers based genetic diversity and population structure of three camel populations // Saudi Journal of Biological Sciences. 2020. Vol. 27. N 7. P. 1699–1709. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.04.046.
9. Hossam M.A., Mohammed A.-T.F., Alshaik M., Aljumaah R., Saleh A. Genetic diversity and population genetic structure of six Dromedary camel (*Camelus dromedarius*) populations in Saudi Arabia // Saudi Journal of Biological Sciences. 2020. Vol. 27. N 5. P. 1384–1389. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.11.041.
10. Sabahat S., Brauning R., Clarke S.M., Nadeem A., Thomson P.C., Khatkar M.S. SNP discovery and population structure analysis in Lassi and Marecha camel breeds using a genotyping by sequencing method // Animal Genetics. 2020. Vol. 51. N 4. P. 620–623. DOI: 10.1111/age.12953.
11. Piro M., Mabsoute F.E., El Khattaby N., Laghouaouta H., Boujenane I. Genetic variability of Dromedary camel populations based on microsatellite markers // Animal. 2020. Vol. 14. N 12. P. 2452–2462. DOI: 10.1017/S1751731120001573.
12. Sai Satyanarayana D., Ahlawat S., Sharma R., Arora R., Sharma A., Tantiya M.S., Vijh R.K. Mitochondrial DNA diversity divulges high levels of haplotype diversity and lack of genetic structure in the Indian camels // Gene. 2022. Vol. 820. P. 146279. DOI: 10.1016/j.gene.2022.146279.

REFERENCES

1. Baimukanov D.A., Yuldashbaev Yu.A., Iskhan K.Zh., Demin V.A. The concept of development of productive and breeding camel breeding in the Republic of Kazakhstan for 2021–2030. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*, 2020, no. 7–8, pp. 52–60. (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-52-60.

2. Eltanany M., Elfaroug S.O., Distl O. Assessment of genetic diversity and differentiation of two major camel ecotypes (*Camelus dromedarius*) in Sudan using microsatellite markers. *Archives Animal Breeding*, 2015, vol. 58, no. 2, pp. 269–275. DOI: 10.5194/aab-58-269-2015.
3. Baimukanov D.A. Selection and genetic parameters of productivity of Kazakh dromedary. *Agrarnaya nauka = Agrarian Science*, 2017, no. 11–12, pp. 47–49. (In Russian).
4. Al Askar H., Alhajeri B.H., Almathen F., Alhaddad H. Genetic diversity and population structure of Dromedary camel types. *Journal of Heredity*, 2020, vol. 111, no. 4, pp. 405–413. DOI: 10.1093/jhered/esaa016.
5. Mutery A.A., Rais N., Mohamed W.K., Abdelaziz T. Genetic diversity in casein gene cluster in a Dromedary camel (*C. dromedarius*) Population from the United Arab Emirates. *Genes (Basel)*, 2021, vol. 12, no. 9, pp. 1417. DOI: 10.3390/genes12091417.
6. Maraqa T., Alhajeri B.H., Alhaddad H. *FGF5* missense mutation is associated with Dromedary hair length variation. *Animal Genetics*, 2021, vol. 52, no. 6, pp. 848–856. DOI: 10.1111/age.13132.
7. Burger P.A., Ciani E., Faye B. Old World camels in a modern world – a balancing act between conservation and genetic improvement. *Animal Genetics*, 2019, vol. 50, no. 6, pp. 598–612. DOI: 10.1111/age.12858.
8. Sharma R., Ahlawat S., Sharma H., Prakash V., Khatak S., Sawal R.K., Tania M.S. Identification of a new Indian camel germplasm by microsatellite markers based genetic diversity and population structure of three camel populations. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, vol. 27, no. 7, pp. 1699–1709. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.04.046.
9. Hossam M.A., Mohammed A.-T.F., Alshaik M., Aljumaah R., Saleh A. Genetic diversity and population genetic structure of six Dromedary camel (*Camelus dromedarius*) populations in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, vol. 27, no. 5, pp. 1384–1389. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.11.041.
10. Sabahat S., Brauning R., Clarke S.M., Na-deem A., Thomson P.C., Khatkar M.S. SNP discovery and population structure analysis in Lassi and Marecha camel breeds using a genotyping by sequencing method. *Animal Genetics*, 2020, vol. 51, no. 4, pp. 620–623. DOI: 10.1111/age.12953.
11. Piro M., Mabsoute F.E., El Khattaby N., Laghouaouta H., Boujenane I. Genetic variability of Dromedary camel populations based on microsatellite markers. *Animal*, 2020, vol. 14, no. 12, pp. 2452–2462. DOI: 10.1017/S1751731120001573.
12. Sai Satyanarayana D., Ahlawat S., Sharma R., Arora R., Sharma A., Tania M.S., Viji R.K. Mitochondrial DNA diversity divulges high levels of haplotype diversity and lack of genetic structure in the Indian camels. *Gene*, 2022, vol. 820, pp. 146279. DOI: 10.1016/j.gene.2022.146279.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тыщенко В.И., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

✉ **Терлецкий В.П.**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 196625, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Московское шоссе, 55-а; e-mail: valeriter@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Valentina I. Tyshchenko, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

✉ **Valery P. Terletskiy**, Doctor of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** 55-a, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Tyarlevo, 196625, Russia; e-mail: valeriter@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 28.02.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 31.03.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023



РАЗРАБОТКА АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

✉ Полищук Ю.В., Лаптев Н.В., Комаров А.П., Мурзабеков Т.А., Гребенюк К.В.

Костанайский филиал Научно-производственного центра агроинженерии

Костанай, Республика Казахстан

✉ e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru

Приведены результаты исследования по разработке и формированию агротехнологических требований для производителей сельскохозяйственной продукции и технических средств, используемых в точном земледелии на территории Республики Казахстан. Существующие агротехнические требования не учитывают влияние систем точного земледелия на технологические параметры при выполнении технологических операций. В процессе проведения исследования сформированы базы данных по агротехнологическим параметрам технологических операций, а также машин и оборудования, используемых в системе точного земледелия. На основании сформированных баз данных сформулированы агротехнологические требования для производителей сельскохозяйственной продукции и технических средств системы точного земледелия. Агротехнологические требования к проведению машинной технологической операции состоят из следующих разделов: «Назначение», «Условия применения», «Предшественники», «Предшествующие и последующие операции», «Агротехнологические требования к качеству выполнения», «Агротехнические требования к технике». В первом разделе представлена информация, поясняющая, для чего предназначена данная технологическая операция; во втором – приводятся климатические и почвенные условия, влажность семян, удобрений, состояние убираемого материала; в третьем – различная необходимая информация; в четвертом – требования к качеству выполнения технологического процесса; в пятом – тип рабочего органа, рабочая скорость, коэффициент надежности технологического процесса, коэффициент использования времени смены, коэффициент готовности, точность вождения агрегата (отклонение от заданного направления движения) без средств навигации, системы параллельного и автоматического вождения с отклонением от заданного направления движения и другие системы точного земледелия для более качественного и эффективного выполнения технологического процесса, дорожный просвет, транспортная скорость движения и требования к конструктивному исполнению сельскохозяйственной машины (орудия).

Ключевые слова: агротехнологии, технологические параметры, точное земледелие, системы автоматического вождения, дистанционный мониторинг

DEVELOPMENT OF AGROTECHNOLOGICAL REQUIREMENTS FOR MANUFACTURERS OF TECHNICAL TOOLS AND AGRICULTURAL PRODUCTS USED IN PRECISION FARMING

✉ Polichshuk Yu.V., Laptev N.V., Komarov A.P., Murzabekov T.A., Grebenyuk K.V.

Kostanaysky branch of the Research and Production Center of Agroengineering

Kostanay, Republic of Kazakhstan

✉ e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru

The results of research on the development and formation of agro-technological requirements for producers of agricultural products and technical means used in precision farming in the Republic of

Kazakhstan are presented. The existing agrotechnical requirements do not take into account the influence of precision farming systems on the technological parameters when performing technological operations. In the course of the research, databases were formed on agrotechnological parameters required for technological operations, as well as on the machines and equipment used in the precision farming system. Based on the generated databases, agrotechnological requirements were developed for the producers of agricultural products and technical means used in precision farming systems. Agrotechnological requirements for a machine technological operation consist of five sections: "Purpose", "Conditions of use", "Forecrops", "Previous and subsequent operations", "Agrotechnological requirements for the quality of performance", "Agrotechnological requirements for the equipment". The first section provides information explaining what this technological operation is intended for; the second section tells about climatic and soil conditions, moisture content of seeds, fertilizers, the condition of the material being harvested; the third section gives various necessary information; the fourth section presents the requirements for the quality of the technological process; the fifth section provides the following information: type of the working body, working speed, process reliability coefficients, shift time utilization coefficient, readiness coefficient, unit driving accuracy (deviation from a given direction of movement) without navigation aids, parallel and automatic driving systems with deviation from a given direction of movement and other precision farming systems for better and more efficient execution of the technological process, road clearance, the transport speed of movement and the requirements for the design of an agricultural machine (tool).

Keywords: agricultural technologies, technological parameters, precision farming, systems automatic driving, remote monitoring

Для цитирования: Полищук Ю.В., Лаптев Н.В., Комаров А.П., Мурзабеков Т.А., Гребенюк К.В. Разработка агротехнологических требований для производителей технических средств, используемых в точном земледелии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 98–106. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-12>

For citation: Polichshuk Yu.V., Laptev N.V., Komarov A.P., Murzabekov T.A., Grebenyuk K.V. Development of agrotechnological requirements for manufacturers of technical tools and agricultural products used in precision farming. *Sibirskii vestnik sel'skokozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 98–106. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-12>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Представленные результаты получены в ходе выполнения прикладных научных исследований в области агропромышленного комплекса Республики Казахстан в 2021–2023 гг. в рамках бюджетной программы № 267 «Повышение доступности знаний и научных исследований».

Acknowledgements

The research results were obtained during the implementation of applied scientific research in the field of agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2021–2023 within the framework of the budget program no. 267 "Increasing the availability of knowledge and scientific research".

ВВЕДЕНИЕ

Агротехнологические требования к технологическому процессу представляют собой совокупность правил воздействия сельскохозяйственными машинами на обрабатываемую среду с целью получения продукции заданного качества при наименьших затратах. Агротехнологические требования являются основой для разработки системы технологий и машин, исходных требований и технических заданий при создании новой техники, техно-

логических карт и другой технологической документации.

В Казахстане в рамках внедрения почвозащитной технологии были подготовлены методические рекомендации, агрономические и почвозащитные требования к обработке почвы. Главной задачей механической обработки почвы является создание в обрабатываемом слое оптимальных условий для нормального роста, развития и формирования урожая культурных растений¹. С учетом требований

¹Госсен Э.Ф., Дворникова Т.Н., Фогель В.Т. К методике определения параметров качества обработки почвы для уточнения почвозащитной технологии возделывания полевых культур. Целиноград, 1979. 45 с.

к качеству обработки почвы сформулированы агротехнические требования, созданы машины противоэрозионного комплекса^{2, 3}.

На начальном этапе проведения экономических реформ в сельскохозяйственном производстве республики в силу возникновения экономических трудностей стали применяться упрощенные технологии возделывания зерновых и кормовых культур. В традиционной почвозащитной технологии сократили количество механических обработок, в минимальных и нулевых технологиях остались только самые необходимые технологические операции.

В настоящее время в Республике Казахстан отсутствуют агротехнологические требования к технологическим операциям при возделывании сельскохозяйственных культур собственной разработки. Существующие агротехнические требования и исходные требования к базовым машинным технологическим операциям в растениеводстве устарели как в техническом, так и в технологическом плане^{4, 5}. Эти нормативные документы были приняты в 2001 и 2005 гг. соответственно. За прошедшие 15–20 лет в сельскохозяйственной отрасли Казахстана были внедрены новые технологии возделывания сельскохозяйственных культур, стала применяться современная высокопроизводительная сельскохозяйственная техника, оснащенная цифровыми технологиями с системами точного земледелия. Использование новых технологий и новой техники способствовало повышению качества работ, производительности и эффективности производства.

Цель исследования – формулирование отвечающих современным реалиям агротехнологических требований к выполнению механизированных сельскохозяйственных работ, формированию технологических карт и технических заданий в сфере проектирования сельскохозяйственных машин.

Новизна проведенных исследований заключается в том, что при формировании агротехнологических требований к выполнению технологических операций в условиях северного региона Республики Казахстан были использованы показатели технологического процесса с учетом влияния систем точного земледелия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Параметры и агротехнические требования к технологическим процессам при возделывании сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия формировались для трех основных технологий: почвозащитной, минимальной и нулевой. Составление требований происходило на основе рекомендаций Научно-исследовательского института сельского хозяйства и опытных станций, данных монографий и других материалов^{6–8} [1].

Кроме того, учитывались зональные особенности возделывания сельскохозяйственных культур, а также существующие требования и рекомендации по применению сельскохозяйственной техники в северном регионе Казахстана (см. сноски 2–5). При разработке агротехнических требований к основным технологическим процессам учитывались особенности и преимущества использования сельскохозяйственной техники в системе точ-

²Бараев А.И., Зайцева А.А., Госсен Э.Ф. Агротехнические требования к комплексу почвообрабатывающих орудий и посевных машин для районов с почвами, неустойчивыми к ветровой эрозии // Усовершенствование почвообрабатывающих машин. М., 1963. С. 34–54.

³Грибановский А.П., Бидлингмайер Р.В., Ревякин Е.П. Комплекс противоэрозионных машин (устройство, регулировки, эксплуатация). М.: Агропромиздат, 1989. 152 с.

⁴Анискин В.И., Артюшин А.А. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. М., 2005. 270 с.

⁵Агротехнические требования к основным технологическим операциям при адаптивных технологиях возделывания озимых колосовых и кукурузы и новые технические средства для их выполнения в Краснодарском крае: метод. указания. Краснодар: Агропромполиграфист, 2001. 144 с.

⁶Алабушев А.В. Состояние и пути эффективности отрасли растениеводства. Ростов-на-Дону: Книга, 2012. 384 с.

⁷Бессонова Е.А. Энергоресурсосбережение – важнейший фактор агротехнологий и повышения плодородия почв // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 1. С. 44–49.

⁸Беляева Б.И., Манджиева Т.В. Обработка почв, подверженных ветровой эрозии // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2011. Т. 2. № 2. С. 62–66.

ного земледелия^{9, 10} [2–6]. В частности, возможность комплектования техники элементами системы точного земледелия: системами дистанционного мониторинга с установкой на тракторы GPS-трекеров, датчиками расхода топлива, системами навигации и т.д. [7, 8].

Требования по каждому технологическому процессу должны состоять из следующих разделов:

- 1) перечень технологических процессов, выполняемых при возделывании основных сельскохозяйственных культур, для различных технологий обработки почвы;
- 2) технологические параметры и особые требования к технологическим процессам;
- 3) общие требования к технологическому процессу и технике;
- 4) сроки проведения технологических процессов;
- 5) перечень технических средств, необходимых для их осуществления.

Как показала практика, принятие нерациональных решений во многом связано с отсутствием у специалиста необходимой информации. Первым этапом актуализации агротехнологических требований для производителей технических средств, используемых в точном земледелии, является формирование базы данных машин и оборудования для реализации перспективных технологий.

Структурная схема базы данных агротехнологических параметров и требований к технологическому процессу представлена на рис. 1.

База данных – это совокупность сведений (о реальных объектах, процессах, событиях или явлениях), относящихся к определенной теме или задаче, организованная таким образом, чтобы обеспечить удобное представление этой совокупности как в целом, так и по частям.

Процесс разработки базы данных состоит из ряда формализованных этапов^{11, 12}:



Рис. 1. Структурная схема базы данных агротехнологических параметров и требований к технологическому процессу

Fig. 1. Block diagram of the database of agrotechnological parameters and requirements for the technological process

⁹Шнаара Д., Захаренко В., Якушева В. Точное сельское хозяйство. СПб.: Пушкин, 2009. 397 с.

¹⁰Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб., 2016. 364 с.

¹¹Фуфаев Э.В. Базы данных. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 320 с.

¹²Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Чавыкин Ю.И., Нино Т.П. Инженерно-технические базы данных в системе научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК. М.: Росинформагротех, 2013. 128 с.

1) изучение предметной области, объекта деятельности, функций, выполнение которых должно основываться на материалах базы, определение целей;

2) создание структуры базы данных на основе анализа предметной области и связей между информационными объектами;

3) сбор фактического материала и заполнение базы данных;

4) фильтрация информации, исключение недостоверных сведений, заполнение пробелов, оценка информативности.

Построение базы данных основано на применении системного подхода, который заключается в том, что база рассматривается как большая система, состоящая из некоторого множества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов [9, 10].

При создании базы руководствуются следующими правилами:

1) учет интересов всех потенциальных пользователей;

2) модульный принцип разработки – независимость разработки каждого модуля относительно других;

3) стандартизация информационного обеспечения – сохранение единства терминологии, применяемой в отношении машин и оборудования.

Одним их наиболее энергоемких этапов создания базы является наполнение ее релевантной информацией. Поиск информации осуществлялся в материалах, представленных машиноиспытательными станциями, в каталогах и справочниках, научно-технической литературе, на сайтах производителей техники.

База данных машин и оборудования содержит справочную информацию о технике и оборудовании, используемых для реализации перспективных технологий возделывания основных сельскохозяйственных культур по системе точного земледелия (см. рис. 2).

Для выполнения поставленной задачи логично представление структуры базы в виде сетевой модели данных. Эта модель является совокупностью элементов, расположенных в порядке от общего к частному и образующих граф – дерево с иерархической структурой. В базе каждый элемент может быть связан с любым другим элементом.



Рис. 2. Структурная схема базы данных машин и оборудования

Fig. 2. Block diagram of the machinery and equipment database

База данных состоит из трех блоков:

- 1) технологии возделывания основных сельскохозяйственных культур;
- 2) техника, применяемая для возделывания и уборки сельскохозяйственных культур;
- 3) цифровые системы и оборудование для точного земледелия.

Каждый из блоков содержит в своей структуре ряд модулей, в которых по функциональному назначению сгруппированы машины, оборудование и другие компоненты. Модули из разных блоков и в пределах одного блока могут иметь функциональную связь с другим модулем.

Среди указываемой информации представлены: название и марка машины или оборудования, фотография, описание, технические характеристики, тип агрегатирования и завод-изготовитель.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе проведения исследований с помощью программы Microsoft Office Access сформированы базы данных по агротехнологическим параметрам и требованиям к технологиям возделывания сельскохозяйственных культур, а также по сельскохозяйственной технике и оборудованию для точного земледелия.

Базы данных по агротехнологическим параметрам и требованиям к возделыванию пшеницы, ячменя, кукурузы на силос, сои, подсолнечника и льна по традиционной, минимальной и нулевой технологиям составлены для всех технологических операций. В табл. 1 представлен фрагмент базы данных по агротехнологическим параметрам и требованиям к технологическому процессу «Ранневсеннее боронование» при возделывании сои по минимальной технологии.

Разработана база данных по машинам и оборудованию, используемым в системе точного земледелия. База данных по тракторам состоит из 236 ед., зерно- и кормоуборочным комбайнам с жатками – из 54 и 58 соответственно, сеялкам и посевным комплексам – из 245, почвообрабатывающей технике – из 599, технике для защиты растений и внесению удобрений – из 223, зерноочистительной технике – из 82, системам и оборудованию для точного земледелия – из 84 ед. В табл. 2. пред-

ставлен фрагмент базы данных по тракторам, в табл. 3 – по системам и оборудованию, применяемым в системе точного земледелия.

В процессе исследований разработаны агротехнологические требования для производителей технических средств, используемых в системе точного земледелия в условиях Республики Казахстан. Создание агротехнологических требований основывалось на базе данных по агротехнологическим параметрам и требованиям к технологиям возделывания сельскохозяйственных культур, а также на базе данных по машинам и оборудованию. При формулировании агротехнологических требований использовались агротехнологические параметры, рекомендованные Научно-исследовательским институтом сельского хозяйства и опытными станциями, опубликованные в трудах научно-исследовательских и учебных институтов и полученные при испытаниях машинно-тракторных агрегатов, оборудованных системами точного земледелия, в условиях северного региона Республики Казахстан.

Агротехнологические требования к машинным технологическим операциям в растениеводстве имеют следующие части: титульный лист, содержание, введение, сами агротехнологические требования.

Указанные требования состоят из пяти разделов:

- 1) назначение – информация, поясняющая, для чего предназначена данная технологическая операция;
- 2) условия применения – климатические и почвенные условия, влажность семян, удобрений, состояние убираемого материала;
- 3) предшествующие, предшествующие и последующие операции;
- 4) требования к качеству выполнения технологического процесса;
- 5) требования к технологическому процессу и технике – тип рабочего органа, рабочая скорость, коэффициент надежности технологического процесса, коэффициент использования времени смены, коэффициент готовности, точность вождения агрегата (отклонение от заданного направления движения) без средств навигации, системы параллельного и автоматического вождения с отклонением от заданного направления движения и другие системы точного земледелия для более каче-

Табл. 1. Требования к технологическому процессу «Ранневесеннее боронование» при возделывании сои по минимальной технологии (фрагмент)
Table 1. Requirements for the technological process «Early spring harrowing» when cultivating soybeans using minimal technology (fragment)

Технологический процесс	Технологические параметры процесса (требования к качеству работ)	Требования к технике	Срок проведения работ	Перечень технических средств
Ранневесеннее боронование	<i>Условия применения</i> Ранневесеннее боронование проводится на почве различного механического состава при достижении его физической спелости (влажности до 30%) на полях со стерней колосовых культур. Количество стерни – 250–300 шт./м ² , высота до 20 см <i>Требования к качеству выполнения</i> Глубина обработки 4–5 см. Отклонение средней глубины обработки от заданной не более ± 1 см. Обработанный слой почвы должен иметь мелкокомковатое крошение с содержанием не менее 75–80% комков размером от 1 до 25 мм. Не допускается наличие глыб крупнее 10 см. После обработки почвы на поверхности поля должно сохраняться не менее 85% стерни по сравнению с исходным количеством. Перекрытые проходы – не более 10–15 см	Ширина захвата 12–27 м; тяговый класс трактора – 2–6 тс; тип рабочего органа – цепной зубовой, игольчатый; рабочая скорость 15–20 км/ч; коэффициент надежности технологического процесса – 0,99; коэффициент использования времени смены – 0,85	Апрель–май	Бороны: а) БЦД-12; б) БЗЦ-12; в) Лира-ХЛ-15; г) Кама-18; д) Кама-27; е) ТПБ-27 «Агристар»

Табл. 2. База данных по тракторам (фрагмент)
Table 2. Tractor database (fragment)

Марка, модель	Характеристика					Завод-изготовитель
	Тяговый класс	Эксплуатационная масса, кг	Марка двигателя	Мощность двигателя, кВт (л.с.)	Частота вращения ВОМ, об./мин	Грузоподъемность навесного устройства, кгс
Беларус-1523/1523Т1	2	6250	Д-260.1 (ММЗ)	109 (148)	540/1000	6500
Беларус-1523.3/1523Т1.3	2	6250	Д-260.1S2 (ММЗ)	111 (150)	540/1000	6500

Табл. 3. База данных по системам и оборудованию для точного земледелия (система автоматического вождения, фрагмент)
Table 3. Database of the systems and equipment for precision agriculture (automatic driving system, fragment)

Название	Точность вождения	Устройство контроля	Тип привода автоматического вождения	Возможность измерения площади по контуру	Используемая антенна	Завод-изготовитель
Система автоматического вождения EZ-Steer	CenterPoint RTK, CenterPoint VRS, CenterPoint RTX – до 2,5 см; OmniSTAR HP/XP – 5–10 см; OmniSTAR – 8–10 см; OmniSTAR VBS – более 1 м; RangePoint RTX – до 15 см	Системный дисплей TMX-2050 – сенсорный дисплей высокой четкости с диагональю 30,8 см; дисплей CFX-750 – сенсорный дисплей высокой четкости с диагональю 20,3 см	Электропривод с фрикционным роликом, устанавливается на рулевую колонку машины	Есть	AG25	Trimble, Калифорния, США

ственного и эффективного выполнения технологического процесса, дорожный просвет, транспортная скорость движения и требования к конструктивному исполнению сельскохозяйственной машины (орудия).

ВЫВОДЫ

1. Сформированы информационная база данных по агротехнологическим параметрам и требованиям к технологиям возделывания пшеницы, ячменя, кукурузы на силос, сои, подсолнечника и льна по всем технологическим операциям, а также база данных по сельскохозяйственной технике и оборудованию для точного земледелия (по тракторам, зерно- и кормоуборочным комбайнам, жаткам, сеялкам, посевным комплексам, почвообрабатывающей технике, защите растений и внесению удобрений, зерноочистительной технике, системам и оборудованию, используемым в системе точного земледелия).

2. На основании указанных баз данных разработаны агротехнологические требования для производителей технических средств, применяемых в точном земледелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верховцев А.А. Влияние технологии возделывания почвы на эффективность зернового производства // Теория и практика мировой науки. 2019. № 3. С. 42–44.
2. Мишуров Н.П., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Подольская Е.Е., Труфляк Е.В. Эффективность применения элементов координатного земледелия при производстве озимой пшеницы // Техника и оборудование для села. 2022. № 8 (302). С. 44–48. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-8-44-48.
3. Polishchuk Y.V., Astafyev V.L., Derpaskin A.I., Kostyuchenkov N.V., Laptev N.V., Komarov A.P. Impacts of automatic and parallel driving systems on the productivity of machine-tractor units in the northern region of the republic of Kazakhstan // Acta Technologica Agriculturae. 2021. Vol. 24 (3). P. 143–149. DOI: 10.2478/ata-2021-0024.
4. Шемякин А.В., Шемякин Б.В., Шашкова И.Г., Романова Л.В. Повышение эффективности управления агропромышленным комплексом Рязанской области на основе внедрения цифровых технологий // Фундаментальные исследования. 2021. № 4. С. 116–122. DOI: 10.17513/fr.43010.

5. Сасыков А.Е. Применение элементов цифровых технологий в сельскохозяйственном производстве // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2020. № 4 (107). С. 39–50. DOI: 10.51452/kazatu.2020.4(107).31.
6. Полищук Ю.В., Лаптев Н.В., Комаров А.П. Эффективность использования самоходного опрыскивателя, оборудованного системой автоматического вождения // Нива Поволжья. 2020. № 4 (57). С. 86–92. DOI: 10.36461/NP.2020.57.4.004.
7. Рада А.О. Определение приоритетных направлений внедрения цифровых технологий на предприятиях растениеводства на основе нечетких экспертных оценок (на материалах Кемеровской области) // Аграрный вестник Урала. 2019. № 12 (191). С. 89–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-89-98.
8. Алтыбаев А.Н., Рахимжанов А.Н., Конысбаев Е.К., Акишев К.М., Тулегулов А.Д. Применение технологий ГЛОНАСС/GPS для исследования мобильных процессов при производстве полевых механизированных работ // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2022. № 4 (115). С. 48–55. DOI: 10.51452/kazatu.2022.4.1270.
9. Матвеев Д.А., Воронаев В.В., Якушев В.В., Петрушин А.Ф. Формирование базы данных оптических характеристик посевов для выделения зон управления на основе дистанционного зондирования // Земледелие. 2021. № 6. С. 20–26. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-20-26.
10. Лукьянов А.А. Информационные технологии в почвоведении и задачи формирования базы данных виноградопригодных почв Краснодарского края // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2019. Т. 24. С. 81–82. DOI: 10.30679/2587-9847-2019-24-81-82.

REFERENCES

1. Verkhovtsev A.A. Influence of soil cultivation technology on the efficiency of grain production. *Teoriya i praktika mirovoy nauki = Theory and Practice of the World Science*, 2019, no. 3, pp. 42–44. (In Russian).
2. Mishurov N.P., Petukhov D.A., Sviridova S.A., Podol'skaya E.E., Truflyak E.V. Effectiveness of the use of coordinate farming elements in the production of winter wheat. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural*

- Area*, 2022, no. 8 (302), pp. 44–48. (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-8-44-48.
3. Polishchuk Y.V., Astafyev V.L., Derepaskin A.I., Kostyuchenkov N.V., Laptev N.V., Komarov A.P. Impacts of automatic and parallel driving systems on the productivity of machine-tractor units in the northern region of the republic of Kazakhstan. *Acta Technologica Agriculturae*, 2021, vol. 24 (3), pp. 143–149. DOI: 10.2478/ata-2021-0024.
 4. Shemyakin A.V., Shemyakin B.V., Shashkova I.G., Romanova L.V. Improving the efficiency of management of the agro-industrial complex of the Ryazan region based on the introduction of digital technologies. *Fundamental'niye issledovaniya = Fundamental Research*, 2021, no. 4, pp. 116–122. (In Russian). DOI: 10.17513/fr.43010.
 5. Sasykov A.E. Application of digital technology elements in agricultural production. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina = Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University*, 2020, no. 4 (107), pp. 39–50. (In Russian). DOI: 10.51452/kazatu.2020.4 (107).31.
 6. Polichshuk Yu.V., Laptev N.V., Komarov A.P. Efficiency of using self-propelled sprinkler equipped with the system of automatic guiding. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*, 2020, no. 4 (57), pp. 86–92. (In Russian). DOI: 10.36461/NP.2020.57.4.004.
 7. Rada A.O. Definition of priority directions of introduction of digital technologies at crop production enterprises based on fuzzy expert assessments (based on the materials of the Kemerovo region). *Agrarniy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2019, no. 12 (191), pp. 89–98. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2019-191-12-89-98.
 8. Altybaev A.N., Rakhimzhanov A.N., Konysbaev E.K., Akishev K.M., Tulegulov A.D. Application of GLONASS/GPS technologies for the study of mobile processes in the production of field mechanized work. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina = Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University*, 2022, no. 4 (115), pp. 48–55. (In Russian). DOI: 10.51452/kazatu.2022.4.1270.
 9. Matveenko D.A., Voropaev V.V., Yakushev V.V., Petrushin A.F. Formation of a database of optical characteristics of crops for the allocation of control zones based on remote sensing. *Zemledeliye = Zemledelie*, 2021, no. 6, pp. 20–26. (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-20-26.
 10. Luk'yanov A.A. Information technologies in soil science and the tasks of forming a database of grape-bearing soils of the Krasnodar territory. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya = Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 2019, vol. 24, pp. 81–82. (In Russian). DOI: 10.30679/2587-9847-2019-24-81-82.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Полищук Ю.В.**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34; e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru

Лаптев Н.В., магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Комаров А.П., магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Мурзабеков Т.А., магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Гребенюк К.В., магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Yuri V. Polichshuk**, Candidate of Science in Engineering, Laboratory Head; **address:** 34, Abaya ave., Kostanai, 110011, Republic of Kazakhstan; e-mail: y.polishchuk.62@mail.ru

Nikolay V. Laptev, Master of Science in Agriculture, Researcher

Artem P. Komarov, Master of Science in Agriculture, Researcher

Timur A. Murzabekov, Master of Science in Agriculture, Researcher

Kirill V. Grebenyuk, Master of Science in Agriculture, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.02.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 18.04.2023
Дата публикации / Published 20.07.2023

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Правила для авторов составлены на основе этических принципов, общих для членов научного сообщества, и правил публикации в международных и отечественных научных периодических изданиях, а также в соответствии с требованиями ВАК для периодических изданий, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал публикует оригинальные статьи по фундаментальным и прикладным проблемам по направлениям:

- общее земледелие и растениеводство;
- селекция, семеноводство и биотехнология растений;
- агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений;
- кормопроизводство;
- инфекционные болезни и иммунология животных;
- частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства;
- разведение, селекция, генетика и биотехнология животных;
- технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса;
- пищевые системы.

Статья, направляемая в редакцию, должна соответствовать тематическим разделам журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»:

Наименование рубрики	Шифр и наименование научной специальности в соответствии с Номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени
Земледелие и химизация	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Растениеводство и селекция	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
Защита растений	4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Кормопроизводство	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Зоотехния и ветеринария	4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных
Механизация, автоматизация, моделирование и информационное обеспечение	4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса
Переработка сельскохозяйственной продукции	4.3.3. Пищевые системы
Проблемы. Суждения Научные связи Из истории сельскохозяйственной науки Краткие сообщения Из диссертационных работ	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса 4.3.3. Пищевые системы

В журнале также публикуются обзоры, краткие сообщения, хроника, рецензии, книжные обзоры, материалы по истории сельскохозяйственной науки и деятельности учреждений и ученых.

Число публикаций одного автора в номере журнала не должно превышать двух, при этом вторая статья допустима лишь в соавторстве.

К рассмотрению принимаются материалы от различных категорий исследователей, аспирантов, докторантов, специалистов и экспертов в соответствующих областях знаний.

Все статьи рецензируются и имеют зарегистрированный в системе CrossRef индекс DOI.

Публикации для авторов **бесплатны**.

При направлении статьи в редакцию журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» рекомендуем руководствоваться следующими правилами.

РЕКОМЕНДАЦИИ АВТОРУ ДО ПОДАЧИ СТАТЬИ

Представление статьи в журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» подразумевает, что:

- статья ранее не была опубликована в другом журнале;
- статья не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией текущей версии статьи.

Перед отправкой статьи на рассмотрение необходимо убедиться, что в файле (файлах) содержится вся необходимая информация на русском и английском языках, указаны источники информации, размещенной на рисунках и в таблицах, все ссылки оформлены корректно.

ПОРЯДОК НАПРАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Отправка статьи осуществляется через электронную редакцию на сайте журнала <https://sibvest.elpub.ru/jour/index>. После предварительной регистрации автора в правом верхнем углу страницы выбрать опцию «Отправить рукопись». Затем загрузить рукопись статьи (в формате *.doc или *.docx) и сопроводительные документы к ней. После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи.

Сопроводительные документы к рукописи статьи:

- скан-копия письма от организации с подтверждением авторства и разрешением на публикацию (образец на <http://sibvest.elpub.ru/>);
- скан-копия авторской справки по представленной форме (образец на <http://sibvest.elpub.ru/>), в которой должно быть выражено согласие на открытое опубликование статьи в печатном варианте журнала и его электронной копии в сети Интернет;
- скан-копия рукописи с подписями авторов. Автор, подписывая рукопись и направляя ее в редакцию, тем самым передает авторские права на издание этой статьи СФНЦА РАН;
- анкеты авторов на русском и английском языках (образец на <http://sibvest.elpub.ru/>);
- скан-копия справки из аспирантуры (для очных аспирантов).

2. Все поступающие в редакцию рукописи статей регистрируются через систему электронной редакции. В личном кабинете автора отражается текущий статус рукописи.

3. Нерецензируемые материалы (материалы научной хроники, рецензии, книжные обозрения, материалы по истории сельскохозяйственной науки и деятельности учреждений и ученых) направляются на e-mail: sibvestnik@sfsc.ru и регистрируются ответственным секретарем.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Текст рукописи оформляется шрифтом Times New Roman, кеглем 14 с интервалом 1,5, все поля 2,0 см, нумерация страниц внизу. Объем статьи не более 15 страниц (включая таблицы, иллюстрации и библиографию); статей, размещаемых в рубриках «Из диссертационных работ» и «Краткие сообщения», – не более 7 страниц.

Структура оформления статьи:

1. **УДК**
2. **Заголовок статьи на русском и английском языках (не более 70 знаков).**
3. **Фамилии и инициалы авторов, полное официальное название научного учреждения, в котором проведены исследования, на русском и английском языках.**

Если в подготовке статьи принимали участие авторы из разных учреждений, необходимо указать принадлежность каждого автора к конкретному учреждению с помощью надстрочного индекса.

4. **Реферат на русском и английском языках.** Объем реферата не менее 200–250 слов. Реферат является кратким и последовательным изложением материала статьи по основным разделам и должен отражать основное содержание, следовать логике изложения материала и описания результатов в статье с приведением конкретных данных. Не следует включать впервые введенные термины, аббревиатуры (за исключением общеизвестных), ссылки на литературу. В реферате не следует подчеркивать новизну, актуальность и личный вклад автора; место исследования необходимо указывать до области (края), не упоминать конкретные организации.

5. **Ключевые слова на русском и английском языках.** 5–7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли реферат и название статьи.

6. **Информация о конфликте интересов либо его отсутствии.** Автор обязан уведомить редактора о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в соответствующий раздел статьи. Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом.

Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

7. **Благодарности на русском и английском языках.** В этом разделе указываются все источники финансирования исследования, а также благодарности людям, которые участвовали в работе над статьей, но не являются ее авторами.

8. **Основной текст статьи.** При изложении оригинальных экспериментальных данных рекомендуется использовать подзаголовки:

ВВЕДЕНИЕ (постановка проблемы, цели, задачи исследования)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ (условия, методы (методика) исследований, описание объекта, место и время проведения)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ или **ВЫВОДЫ**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Количество источников не менее 15. В список литературы включаются только рецензируемые источники: статьи из научных журналов и монографии. Самоцитирование не более 10% от общего количества. Библиографический список должен быть оформлен в виде общего списка в порядке упоминания в тексте, желательны ссылки на источники 2–3-летнего срока давности. Правила оформления списка литературы – в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008 (требования и правила составления библиографической ссылки). В тексте ссылка на источник отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на тех языках, на которых она издана. В библиографическое описание публикации необходимо вносить всех авторов, не сокращая их одним, тремя и т.п. Недопустимо сокращение названий статей, журналов, издательств.

Если необходимо сослаться на авторефераты, диссертации, сборники статей, учебники, рекомендации, учебные пособия, ГОСТы, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и прочее, то такую информацию следует оформить в *сноску* в конце страницы. Сноски нумеруются арабскими цифрами, размещаются постранично сквозной нумерацией.

Внимание! Теоретические, обзорные и проблемные статьи могут иметь произвольную структуру, но обязательно должны содержать реферат, ключевые слова, список литературы.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ, REFERENCES И СНОСОК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Монография

Климова Э.В. Полевые культуры Забайкалья: монография. Чита: Поиск, 2001. 392 с.

Часть книги

Холмов В.Г. Минимальная обработка кулисного пара под яровую пшеницу при интенсификации земледелия в южной лесостепи Западной Сибири // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. С. 230–235.

Периодическое издание

Пакуль А.Л., Лапшинов Н.А., Божанова Г.В., Пакуль В.Н. Технологические качества зерна мягкой яровой пшеницы в зависимости от системы обработки почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48. № 4. С. 27–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4.

REFERENCES:

Составляется в том же порядке, что и русскоязычный вариант, по следующим правилам:

Фамилии И.О. авторов в устоявшемся способе транслитерации, англоязычное название статьи, *транслитерация названия русскоязычного источника (например, через сайт: <https://antrophob.ru/translit-bis>)* = англоязычное название источника. Далее оформление для монографии: город, англоязычное название издательства, год, количество страниц; для журнала: год, том, номер, страницы. (In Russian).

Пример: Avtor A.A., Avtor B.B., Avtor C.C. Title of article.

Транслитерация авторов. Англоязычное название статьи

Zaglavie jurnala = Title of Journal, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 49–54.

Транслитерация источника = Англоязычное название источника

Монография

Klimova E.V. *Field crops of Zabaikalya*. Chita, Poisk Publ., 2001, 392 p. (In Russian).

Часть книги

Kholmov V.G. Minimum tillage of coulisse-strip fallow for spring wheat with intensification of arable agriculture in southern forest-steppe of Western Siberia. *Resource-saving tillage systems*, Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, pp. 230–235. (In Russian).

Периодическое издание

Pakul A.L., Lapshinov N.A., Bozhanova G.V., Pakul V.N. Technological grain qualities of spring common wheat depending on the system of soil tillage. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, vol. 48, no. 4, pp. 27–35. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4.

СНОСКИ:

Цитируемый текст¹.

¹Климова Э.В., Андреева О.Т., Темникова Г.П. Пути стабилизации кормопроизводства Забайкалья // Проблемы и перспективы совершенствования зональных систем земледелия в современных условиях: материалы науч.-практ. конф. (Чита, 16–17 октября 2008 г.). Чита, 2009. С. 36–39.

Цифровой идентификатор Digital Object Identifier – DOI (когда он есть у цитируемого материала) необходимо указывать в конце библиографической ссылки.

Пример:

Chu T., Starek M.J., Brewer M.J., Murray S.C., Pruter L.S. Assessing lodging severity over an experimental maize (*Zea mays* L.) field using UAS images // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. P. 923. DOI: 10.3390/rs9090923.

Наличие DOI статьи следует проверять на сайте <http://search.crossref.org/> или <https://www.citethisforme.com>. Для этого нужно ввести в поисковую строку название статьи на английском языке.

РИСУНКИ, ТАБЛИЦЫ, СКРИНШОТЫ И ФОТОГРАФИИ

Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Все рисунки должны иметь подрисуночные подписи. Подрисуночную подпись необходимо перевести на английский язык. Рисунки нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если рисунок в тексте один, то он не нумеруется. Отсылки на рисунки оформляются следующим образом: «На рис. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. рис. 3)». Подрисуночная подпись включает

порядковый номер рисунка и его название: «Рис. 2. Описание жизненно важных процессов». Перевод подрисуночной подписи следует располагать после подрисуночной подписи на русском языке.

Таблицы должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Предпочтительны таблицы, пригодные для редактирования, а не отсканированные или в виде рисунков. Все таблицы должны иметь заголовки. Название таблицы должно быть переведено на английский язык. Таблицы нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если таблица в тексте одна, то она не нумеруется. Отсылки на таблицы оформляются следующим образом: «В табл. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. табл. 3)». Заголовок таблицы включает порядковый номер таблицы и ее название: «Табл. 2. Описание жизненно важных процессов». Перевод заголовка таблицы следует располагать после заголовка таблицы на русском языке.

Фотографии, скриншоты и другие нерисованные иллюстрации необходимо загружать отдельно в виде файлов формата *.jpeg (*.doc и *.docx – в случае, если на изображение нанесены дополнительные пометки). Разрешение изображения должно быть >300 dpi. Файлам изображений необходимо присвоить название, соответствующее номеру рисунка в тексте. В описании файла следует отдельно привести подрисуночную подпись, которая должна соответствовать названию фотографии, помещаемой в текст.

Следует обратить внимание на написание формул в статье. Во избежание путаницы необходимо греческие (α , β , π и др.), русские (А, а, Б, б и др.) буквы и цифры писать прямым шрифтом, латинские – курсивным (*W*, *Z*, *m*, *n* и др.). Математические знаки и символы нужно писать также прямым шрифтом. Необходимо четко указывать верхние и нижние надстрочные символы (W^1 , F_1 и др.).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЖУРНАЛОМ И АВТОРОМ

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться изложенными выше правилами.

Все поступающие в журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» статьи проходят предварительную проверку на соответствие формальным требованиям. На этом этапе редакция оставляет за собой право:

- принять статью к рассмотрению;
- вернуть статью автору (авторам) на доработку с просьбой устранить ошибки или добавить недостающие данные;
- вернуть статью автору (авторам) без рассмотрения, оформленную не по требованиям журнала;
- отклонить статью из-за несоответствия ее целям журнала, отсутствия оригинальности, малой научной ценности.

Переписка с авторами рукописи ведется через контактное лицо, указанное в рукописи.

Все научные статьи, поступившие в редакцию журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки», проходят обязательное двухстороннее «слепое» рецензирование (double-blind – автор и рецензент не знают друг о друге). Рукописи направляются по профилю научного исследования на рецензию членам редакционной коллегии.

В спорных случаях редактор может привлечь к процессу рецензирования нескольких специалистов, а также главного редактора. При положительном заключении рецензента статья передается редактору для подготовки к печати.

При принятии решения о доработке статьи замечания и комментарии рецензента передаются автору. Автору дается 2 месяца на устранения замечаний. Если в течение этого срока автор не уведомил редакцию о планируемых действиях, статья снимается с очереди публикации.

При принятии решения об отказе в публикации статьи автору отправляется соответствующее решение редакции.

Ответственному (контактному) автору принятой к публикации статьи направляется финальная версия верстки, которую он обязан проверить.

ПОРЯДОК ПЕРЕСМОТРА РЕШЕНИЙ РЕДАКТОРА/РЕЦЕНЗЕНТА

Если автор не согласен с заключением рецензента и/или редактора или отдельными замечаниями, он может оспорить принятое решение. Для этого автору необходимо:

- исправить рукопись статьи согласно обоснованным комментариям рецензентов и редакторов;
- ясно изложить свою позицию по рассматриваемому вопросу.

Редакторы содействуют повторной подаче рукописей, которые потенциально могли бы быть приняты, однако были отклонены из-за необходимости внесения существенных изменений или сбора дополнительных данных, и готовы подробно объяснить, что требуется исправить в рукописи для того, чтобы она была принята к публикации.

ДЕЙСТВИЯ РЕДАКЦИИ В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАГИАТА, ФАБРИКАЦИИ ИЛИ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Редакция научного журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» в своей работе руководствуется традиционными этическими принципами научной периодики и сводом принципов «Кодекса этики научных публикаций», разработанным и утвержденным Комитетом по этике научных публикаций, требуя соблюдения этих правил от всех участников издательского процесса.

ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК И ОТЗЫВ СТАТЬИ

В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, влияющих на ее восприятие, но не искажающих изложенные результаты исследования, они могут быть исправлены путем замены pdf-файла статьи. В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, искажающих результаты исследования, либо в случае плагиата, обнаружения недобросовестного поведения автора (авторов), связанного с фальсификацией и/или фабрикацией данных, статья может быть отозвана. Инициатором отзыва статьи может быть редакция, автор, организация, частное лицо. Отзывная статья помечается знаком «Статья отозвана», на странице статьи размещается информация о причине ее отзыва. Информация об отзыве статьи направляется в базы данных, в которых индексируется журнал.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

Подписку на журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»
(как на годовой комплект, так и на отдельные номера)
можно оформить одним из следующих способов:

- в агентстве подписки ГК «Урал-Пресс» по индексу 014973. Ссылка на издание https://www.ural-press.ru/catalog/97210/8707659/?sphrase_id=392975. В разделе контакты зайти по ссылке <http://ural-press.ru/contact/>, где можно выбрать филиал по месту жительства;
- в редакции журнала (телефон 7-383-348-37-62; e-mail: sibvestnik@sfscs.ru).

Полнотекстовая версия журнала
«Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»
размещена на сайте Научной электронной библиотеки:
<http://www.elibrary.ru>.

THE SCIENTIFIC JOURNAL
SIBERIAN HERALD
OF AGRICULTURAL SCIENCE
SIBIRSKII VESTNIK SEL'SKOKHOZYAISTVENNOI NAUKI

FOUNDERS: SIBERIAN FEDERAL SCIENTIFIC CENTRE OF AGRO-BIOTECHNOLOGIES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

ESTABLISHED IN 1971

12 ISSUES PER YEAR

Volume 53, No 6 (295)

DOI: 10.26898



2023
June

Editor-in-Chief – Alexander S. Donchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Head Researcher, Head of Research Group of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Deputy Editor-in-Chief – Tatyana A. Lombanina, Head of the «Agronauka» Publishing House of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Editorial board:

Vladimir V. Azarenko	Dr. Sci. in Engineering, Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. of Belarus, Minsk, Belarus
Victor V. Alt	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Olga S. Afanasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Saint-Petersburg, Russia
B. Byambaa	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Acad. of Mongolian Acad. Sci., Ulaanbaatar, Mongolia
Anatoly N. Vlasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Natalia G. Vlasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Kirill S. Golokhvast	Cor. Mem. of Russ. Acad. Edu., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Olga V. Golub	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Nikolay P. Goncharov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Mikhail I. Gulyukin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Moscow, Russia
Valery N. Delyagin	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Seyed Ali Johari	Associate Professor, PhD, Sanandaj, Iran
Irina M. Donnik	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Nikolay A. Donchenko	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Novosibirsk, Russia
Nikolay M. Ivanov	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Andrey Yu. Izmailov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Moscow, Russia
Nikolay I. Kashevarov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Valery I. Kiryushin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Sergey N. Mager	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Konstantin Ya. Motovilov	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Oleg K. Motovilov	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Askar M. Nametov	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. Rep. of Kazakhstan, Uralsk, Kazakhstan
Vasil S. Nikolov	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Sofia, Bulgaria
Sergey P. Ozornin	Dr. Sci. in Engineering, Chita, Russia
Valery L. Petukhov	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Revmira I. Polyudina	Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Marina I. Selionova	Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Vladimir A. Soloshenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Nikolay A. Surin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Krasnoyarsk, Russia
Ivan F. Khramtsov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Omsk, Russia
Sezai Ercisli	Professor, PhD, Erzurum, Turkey
Seung H. Yang	Professor, PhD, Gwangju, Korea



www.sibvest.elpub.ru

Editors *E.M. Isaevich, E.V. Mosunova, G.N. Yagupova*. Corrector *V.E. Selianina*.

Desktop Publisher *N.U. Borisko*. Translator *M.Sh. Gacenko*.

Certificate PI FS77-64832 issued by the Federal Service for Supervision of Media, Communications and Information Technologies on February 2, 2016

Publisher: Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Editorial and publisher's address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, 630501, Russia.

Printing house address: room 156, SRI of Fodder Crops building, Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, 630501, Russia.

Tel/fax: +7-383-348-37-62; e-mail: sibvestnik@sfscs.ru, vestnik.nsk@ngs.ru; www.sibvest.elpub.ru

© Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, 2023

© Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023