



ISSN 0370-8799 (Print)
ISSN 2658-462X (Online)

Сибирский вестник СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ SIBERIAN HERALD OF AGRICULTURAL SCIENCE

№ 2
TOM 53



ФЕВРАЛЬ 2023

Том 53 № 2 2023

СИБИРСКИЙ ВЕСТНИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ



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, № 2 (291)

DOI: 10.26898



2023

февраль

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, заведующий 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. Делягин	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. Солошенко	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. Язупова. Корректор В.Е. Селянина.

Оператор электронной верстки Н.Ю. Борisko. 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: 630501, Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, здание СФНЦА РАН, к. 456, а/я 463
Тел./факс (383)348-37-62 e-mail: sibvestnik@sfsca.ru, vestnik.nsk@ngs.ru; <https://sibvest.elpub.ru/jour>

Вышел в свет 20.03.2023. Формат 60 × 84^{1/8}. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Печ. л. 15,75

Уч-изд. л. 15,5. 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

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ХИМИЗАЦИЯ

Перфильев Н.В., Выюшина О.А. Влияние систем основной обработки на изменение агрегатного состава темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье

Бильдиева Е.А., Ерошенко Ф.В. Особенности азотного питания озимой пшеницы в технологии прямого посева

Маслова Г.А., Кондаков К.С., Башинская О.С. Зависимость урожайности новых сортов нута от способа посева в Нижнем Поволжье

РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ

Гончарова А.В., Капко Т.Н. Экологическая пластичность и стабильность вики яровой (посевной) в условиях Западно-Сибирского региона

Азопкова М.А. Индукция каллусогенеза соцветий чеснока (*Allium sativum* L.) *in vitro*

CONTENTS

AGRICULTURE
AND CHEMICALIZATION

5 Perfilyev N.V., Vyushina O.A. Effect of tillage systems on changes in the aggregate composition of dark gray forest soils in the Northern Trans-Urals

16 Bildieva E.A., Eroshenko F.V. Specific features of nitrogen nutrition of winter wheat in No-till technology

25 Maslova G.A., Kondakov K.S., Bashinskaya O.S. Yield dependence of new cheakpea varieties on the method of sowing in the Lower Volga region

PLANT GROWING AND BREEDING

33 Goncharova A.V., Kapko T.N. Ecological plasticity and stability of spring vetch (tare) under conditions of the West Siberian region

43 Azopkova M.A. Induction of garlic (*Allium sativum* L.) inflorescence callusogenesis *in vitro*

- Пырников Д.А., Пуалаккайнан Л.А., Глаз Н.В., Уфимцева Л.В.** Экологическое испытание ячменя в северной лесостепи Челябинской области 48 **Pyrnikov D.A., Pualakkainan L.A., Glaz N.V., Ufimtseva L.V.** Ecological testing of barley in the northern forest-steppe of the Chelyabinsk region

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION

- Дорошенко Е.С., Шишкин Н.В.** Устойчивость ярового ячменя к возбудителям листовых болезней 55 **Doroshenko E.S., Shishkin N.V.** Spring barley resistance to leaf disease pathogens

*ЗООТЕХНИЯ
И ВЕТЕРИНАРИЯ*

*ZOOTECHNICS
AND VETERINARY MEDICINE*

- Афонюшкин В.Н., Козлова О.С., Черепушкина В.С., Миронова Т.Е., Козлова Ю.Н., Ян Ф., Коптев В.Ю., Донченко Н.А., Леденева О.Ю.** Изучение влияния масляной кислоты и пропандиола на кишечник у мышей ICR 64 **Afonyushkin V.N., Kozlova O.S., Cherepushkina V.S., Mironova T.E., Kozlova Yu.N., Yang F., Koptev V.Yu., Donchenko N.A., Ledeneva O.Yu.** Study of the effects of butyric acid and propanediol of the intestine in ICR mice
- Крутикова А.А., Позовникова М.В., Никиткина Е.В., Мусидрай А.А.** Анализ качества спермы быков айрширской породы в связи с гаплотипом фертильности AH1 71 **Krutikova A.A., Pozovnikova M.V., Nikitkina E.V., Musidray A.A.** Semen quality analysis of the Airshire bulls in relation to the AH1 fertility haplotype
- Функ И.А., Дорофеев Р.В.** Влияние пробиотического препарата на качество молока коз 79 **Funk I.A., Dorofeev R.V.** Effect of probiotic preparation on goat milk quality
- Тарабукина Н.П., Былгаева А.А., Степанова А.М., Парникова С.И., Неустроев М.П.** Новые перспективные штаммы *Bacillus subtilis*, выделенные из мерзлотных почв Якутии 85 **Tarabukina N.P., Bylgaeva A.A., Stepanova A.M., Parnikova S.I., Neustroev M.P.** New promising strains of *Bacillus subtilis* isolated from frozen soils of Yakutia
- Березин А.С.** Изменение экстерьерных признаков медоносных пчел в течение сезона 94 **Berezin A.S.** Changes in the exterior features of honey bees during the season

*МЕХАНИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ*

*MECHANISATION, AUTOMATION,
MODELLING AND DATAWARE*

- Пшенов Е.А., Блёскин С.С.** Разработка двухступенчатого циклона 101 **Pshenov E.A., Bleskin S.S.** Development of a two-stage cyclone

НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

SCIENTIFIC RELATIONS

- Ержебаева Р.С., Абекова А.М., Базылова Т.А., Масимгазиева А.С., Мереева Т.Д., Кожахметов К.К., Бастаубаева Ш.О., Слямова Н.Д.** Подбор интрогрессивных линий пшеницы и тритикале по качеству зерна и устойчивости к болезням для использования в органическом земледелии 110 **Yerzhebaeva R.S., Abekova A.M., Bazzylova T.A., Massimgaziyeva A.S., Mereyeva T.D., Kozhakhmetov K.K., Bastaubayeva Sh.O., Slyamova N.D.** Selection of introgressive wheat and triticale lines for grain quality and resistance to diseases for use in organic farming



ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В СЕВЕРНОМ ЗАУРАЛЬЕ

✉ Перфильев Н.В., Вьюшина О.А.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья –
филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
Тюмень, Россия

✉ e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

В длительном стационарном опыте (1988–2019 гг.) изучено воздействие отвальной, безотвальной, комбинированной, дифференцированной, поверхностной, плоскорезной систем основной обработки на изменение агрегатного состава темно-серой лесной почвы. Исследования проходили в северной лесостепи Северного Зауралья (Тюменская область). За 30-летний период использования в пашне почва слоя 0–20 см сохраняла структурное состояние, не уступающее исходному по большинству исследуемых вариантов обработки. С увеличением глубины профиля почвы до слоя 0–30 см за счет повышения доли глыбистой фракции в нижнем слое 10–30 см происходило снижение содержания агрономически ценной структуры в сравнении со слоем 0–20 см, а также с исходным состоянием по большинству исследуемых систем обработки. Самое высокое содержание агрономически ценной структуры в слое почвы 0–20 см было по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки (72,8–77,8%). За 30-летний период содержание агрономически ценной структуры (10–0,25 мм) в слое почвы 0–20 см увеличилось по данным обработкам на 6,12–13,45%, коэффициент структурности – на 21,9–60,3%. По остальным системам обработки содержание данной фракции (67,5–69,8%) и коэффициент структурности (2,07–2,31) были близкими исходному состоянию – 68,6% и 2,19 соответственно. Средневзвешенный диаметр агрономически ценных агрегатов увеличился от 2,71 мм при исходном состоянии до 3,00–3,29 мм (7,7–21,2%) за счет существенного увеличения доли этих агрегатов в слое 0–10 см. В целом по профилю почвы 0–30 см самые высокие показатели структурного состояния оставались по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки. Безотвальная, комбинированная и поверхностная обработки снижали в сравнении с отвальной системой содержание агрономически ценной структуры на 9,7–15,9%, вели к снижению коэффициента структурности на 0,99–1,39 ед.

Ключевые слова: структура почвы, система основной обработки, коэффициент структурности, средневзвешенный диаметр агрегатов

EFFECT OF TILLAGE SYSTEMS ON CHANGES IN THE AGGREGATE COMPOSITION OF DARK GRAY FOREST SOILS IN THE NORTHERN TRANS-URALS

✉ Perfiliev N.V., Vyushina O.A.

Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region - Branch of Tyumen
Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Tyumen, Russia

✉ e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

In a long-term stationary experiment (1988–2019) the impact of mouldboard, non-mouldboard, combined, differentiated, surface and sweep-blade tillage systems on the change in the aggregate

composition of dark gray forest soils was studied. The research took place in the northern forest-steppe of the Northern Trans-Ural (Tyumen Region). Over a 30-year period of use in arable land, the soil of 0-20 cm layer retained its structural condition not inferior to the initial one for most of the studied variants of cultivation. With increasing the depth of the soil profile up to 0-30 cm layer due to an increase in the proportion of clumpy fraction in the lower layer 10-30 cm there was a decrease in the content of agronomically valuable structure compared to the layer 0-20 cm, as well as with the initial state on most of the studied systems of cultivation. The highest content of agronomically valuable structure in the soil layer 0-20 cm was on the mouldboard, sweep-blade and differentiated tillage systems (72.8-77.8%). Over the 30-year period, the agronomically valuable structure content (10-0.25 mm) in the soil layer 0-20 cm increased by 6.12-13.45% in these treatments, the structure coefficient by 21.9-60.3%. For the other treatment systems, the content of this fraction (67.5-69.8%) and the structure coefficient (2.07-2.31) were close to the initial condition - 68.6% and 2.19, respectively. The average weighted diameter of agronomically valuable aggregates increased from 2.71 mm in the initial condition to 3.00-3.29 mm (7.7-21.2%) due to a significant increase in the proportion of these aggregates in the 0-10 cm layer. In general, the highest indicators of the structural condition of the soil profile of 0-30 cm remained on the mouldboard, sweep-blade and differentiated systems of cultivation. Non-mouldboard, combined and surface tillage reduced the content of agronomically valuable structure by 9.7-15.9% compared with the mouldboard system, and led to a decrease in the coefficient of structure by 0.99-1.39 units.

Keywords: soil structure, tillage system, structure coefficient, average weighted diameter of aggregates

Для цитирования: *Перфильев Н.В., Вьюшина О.А.* Влияние систем основной обработки на изменение агрегатного состава темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 5–15. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-1>

For citation: Perfilyev N.V., Vyushina O.A. Effect of tillage systems on changes in the aggregate composition of dark gray forest soils in the Northern Trans-Urals. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 5–15. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в соответствии с программой НИР по государственному заданию № 121041600037-3.

Acknowledgements

The work was performed in accordance with the research program under the state assignment No. 121041600037-3.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе активного сельскохозяйственного использования пашни в течение многих лет состояние плодородия почвы может изменяться как в положительную, так и в отрицательную сторону. Это зависит от условий использования пашни, степени соблюдения базисных научно обоснованных параметров зональных систем земледелия, касающихся ее основных элементов.

При учете важности всех составляющих этих элементов обработка почвы, особенно основная, занимает важное место в формировании почвенного плодородия. Обработка – основной инструмент регулирования

агрофизических свойств почвы, от которых зависят ее биологическая активность, питательный режим, фитосанитарное состояние посевов, плодородие [1].

Одним из важных показателей агрофизических свойств почвы является ее структура, т.е. способность почвы распадаться на отдельные агрегаты (комочки), которые различаются по форме и размерам [2, 3]. В свою очередь, изменение агрегатного состава приводит к изменению физических свойств почвы [4, 5]. Уменьшение содержания агрономически ценных агрегатов и увеличение глыбистости ведет к снижению продуктивности культур [6].

В настоящее время существует множество приемов и способов обработки почвы различной степени интенсивности, а также противоречивых мнений о том, какие из них наиболее эффективнее влияют на улучшение ее агрофизических свойств. Одни ученые считают, что при минимизации обработка улучшает структуру почвы [7–10], другие являются сторонниками традиционной технологии обработки [11, 12]. Перед исследователями стоит задача преодолеть эти противоречия [13]. В связи с этим разработка систем обработки почвы, обеспечивающих формирование и устойчивое поддержание оптимальных параметров агрофизических свойств почвы, в том числе ее структурного состояния, является актуальной задачей современного земледелия [14].

Цель исследования – определить влияние различных систем основной обработки на структурно-агрегатный состав темно-серой лесной почвы при их длительном применении в условиях северной лесостепи Тюменской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучено влияние различных систем основной обработки почвы с элементами минимизации при длительном применении (завершение 6-й ротации севооборота) на структурно-агрегатное состояние темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы. Опыт заложен в стационаре на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра СО РАН (57006°, 39°с.ш.; 65025°, 22° в.д.), высота над уровнем моря – 101 м. Опыт проходил в 1988–2019 гг. в зернопаровом севообороте чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – зернобобовые – яровой ячмень, развернутого во времени и в пространстве. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса 4,2–5,0%, pH солевой вы-

тяжки – 6,0–6,4, глубина гумусного горизонта – 25–27 см. Сумма поглощенных оснований в пахотном слое 18,6–25,6 мг-экв./100 г почвы. Содержание подвижных питательных элементов в слое 0–20 см перед посевом: N-NO₃ – 4,26–6,57 мг/кг, P₂O₅ – 12,5–15,6 мг/100 г почвы, K₂O – 15,7–17,2 мг/100 г.

Схема опыта включала шесть вариантов системы основной обработки почвы:

- отвальная – вспашка на глубину 20–22 см;
- безотвальная – безотвальное рыхление на 20–22 см;
- комбинированная – чередование вспашки и безотвального рыхления на 20–22 см;
- дифференцированная – в пару и после озимой ржи культивация на 12–14 см, вспашка на 20–22 см под зернобобовые, под ячмень и после него дискование на 10–12 см;
- плоскорезная – ежегодно обработка культиватором Смарагд-6 на 12–14 см;
- поверхностная – ежегодно дискование на 10–12 см.

Варианты опыта заложены на удобренном фоне из расчета N₄₀P₄₀K₄₀ кг д.в. на 1 га севооборотной площади. Весной проводили общепринятую предпосевную обработку и посев сеялкой СЗП-3,6. Обработку против сорняков осуществляли гербицидами общим фоном. Растительные остатки от возделываемых культур измельчали в процессе уборки и оставляли на поле с последующей заделкой в почву при основной обработке. Отбор почвы для анализа проводили в начале опыта (1988 г.) и по завершении 6-й ротации (2019 г.) севооборота в 6-кратной повторности по слоям 0–10, 10–20, 20–30 см. Агрегатный состав почвы определяли по методу Н.И. Саввинова, коэффициент структурности рассчитывали в соответствии с имеющимися рекомендациями. Математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову, О.Д. Сорокину^{1–3}. Величину средневзвешенного диаметра (ВСД) агрегатов определяли по формуле

¹Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. 1986. 416 с.

²Доспехов Б.А. Методика полевого опыта; изд. 4-е, перероб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

³Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Красноярск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.

$$\text{ВСД} = d_1 \times P_1 + d_2 \times P_2 + d_n \times P_n / 100,$$

где d_1, d_2, d_n – средний диаметр фракции агрегатов, мм; P_1, P_2, P_n – содержание соответствующей фракции, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наши результаты определения структуры почвы показали, что исходное состояние слоя почвы 0–30 см опытного участка было в целом вполне удовлетворительным (см. табл. 1).

Содержание агрономически ценной фракции агрегатов (10,00–0,25 мм) составляло 68,0%, т.е. несколько не достигало отличной оценки (80%) по критерию оценки С.И. Долгова и П.У. Бахтина, что объясняется особенностью механического состава тя-

желосуглинистой почвы – их большой связностью, значительным содержанием в такой почве физической глины^{4,5}. При незначительном присутствии в общей структуре микроструктуры частиц менее 0,25 мм (5,11%) более четверти (26,8%) составляли агрегаты глыбистой фракции более 10 мм, которые в результате увлажнения почвы, замерзания и оттаивания способны разрушаться и за счет этого пополнять долю агрономически ценной структуры (10,00–0,25 мм) [15]. При этом коэффициент структурности ($K_{\text{стр}}$) в слое 0–30 см составлял 2,13, что характеризует структурное состояние как отличное (см. табл. 1)⁶ [2].

Использование темно-серой лесной почвы в пашне при возделывании зерновых в зернопаровом севообороте в течение шести

Табл. 1. Влияние систем основной обработки почвы на структурное состояние слоев почвы 0–20 и 0–30 см по завершении 6-й ротации зернопарового севооборота (1988–2019 гг.)

Table 1. Effect of tillage systems on the structural condition of 0–20 and 0–30 cm layer at the end of the 6th rotation of grain and fallow crop rotation, (1988–2019).

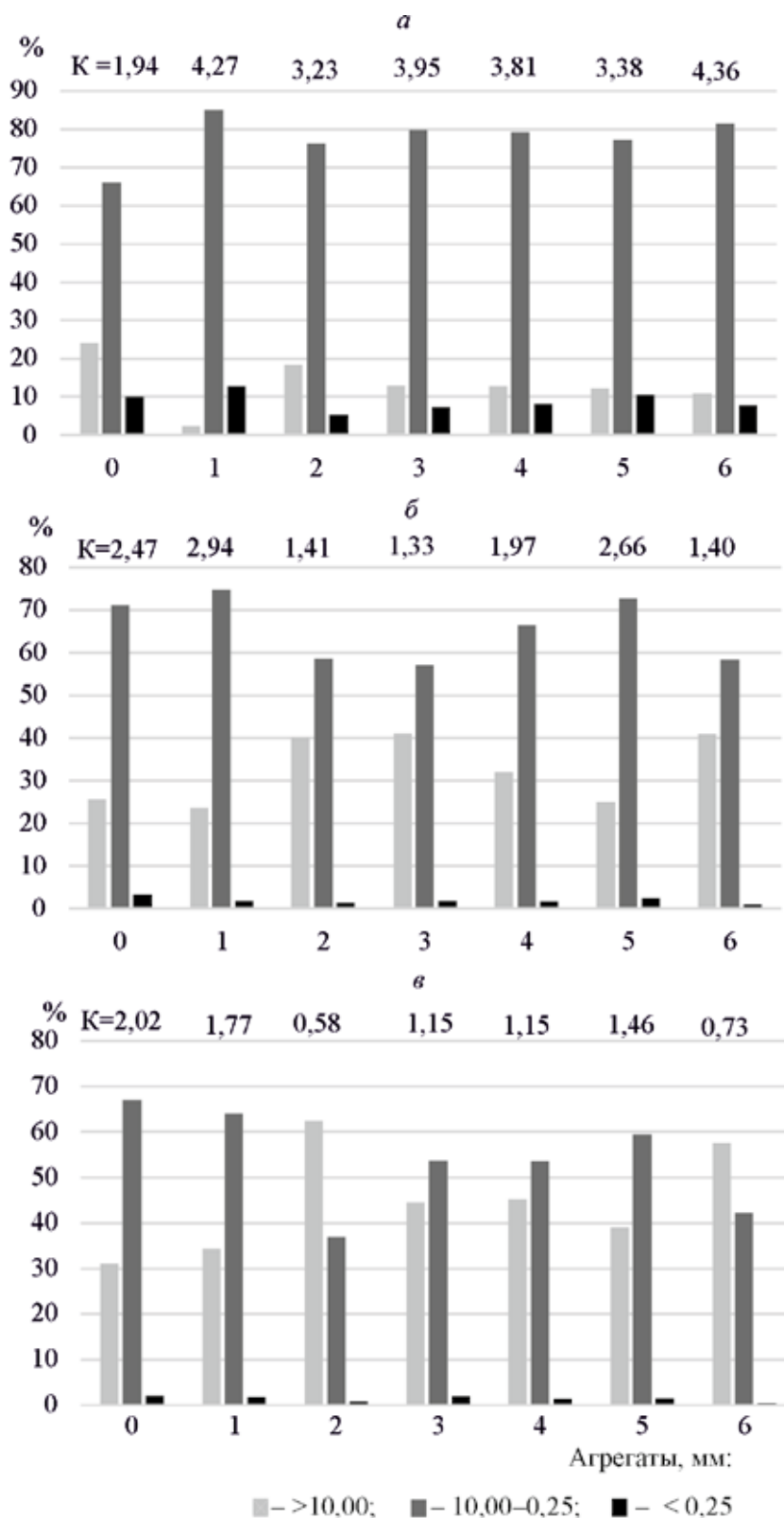
Номер обработ- ки	Слой почвы, см	Содержание агрегатов (%) размером (мм)			Коэффициент структурности	Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм	
		> 10,0	10,00–0,25	< 0,25		Всего агрегатов	10,00–0,25
Исходное состояние (1988 г.)							
0	0–20	24,7	68,6	6,7	2,19	5,13	2,71
	0–30	26,9	68,0	5,1	2,13	5,53	2,88
По завершении 6-й ротации (2019 г.)							
1	0–20	15,4	77,8	6,8	3,51	4,26	2,70
	0–30	21,7	73,2	5,1	2,73	5,00	2,81
2	0–20	29,2	67,5	3,3	2,07	6,22	3,29
	0–30	40,3	57,3	2,4	1,34	6,91	2,88
3	0–20	27,0	68,5	4,5	2,17	5,63	2,92
	0–30	32,8	63,5	3,7	1,74	6,20	2,90
4	0–20	22,4	72,8	4,8	2,67	5,38	3,13
	0–30	30,0	66,4	3,6	1,97	6,02	3,01
5	0–20	18,6	74,9	6,5	2,99	4,88	3,00
	0–30	25,4	69,8	4,8	2,30	5,63	3,07
6	0–20	25,8	69,8	4,4	2,31	5,70	3,10
	0–30	36,4	60,6	3,0	1,54	6,49	2,84
НСР ₀₅	0–20	6,9	5,1	1,8	0,62	1,10	0,58
	0–30	7,3	6,4	2,2	0,73	1,36	0,45

Примечание. Здесь и в табл. 2: 0 – исходное состояние; 1 – отвальная обработка; 2 – безотвальная; 3 – комбинированная; 4 – дифференцированная; 5 – поверхностная; 6 – плоскорезная.

⁴Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1990. 258 с.

⁵Сафонов А.Ф., Стратонович М.В. Практикум по земледелию с почвоведением. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.

⁶Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков, 2008. 406 с.



Содержание фракций агрегатов (%) по горизонтам почвы. Коэффициент структурности в начале ротации севооборота (исходное 1988 г.) и по завершении 6-й ротации севооборота (2019 г.).

Примечание. 0 – исходное состояние; 1 – отвальная обработка; 2 – безотвальная; 3 – комбинированная; 4 – дифференцированная; 5 – поверхностная; 6 – плоскорезная. Слой почвы, см: а – 0–10; б – 10–20; в – 20–30

Aggregate fraction content (%), by soil horizon. Structure coefficient at the beginning of crop rotation (initial 1988) and at the end of the 6th rotation of the crop rotation (2019).

Note. 0 - initial; 1 - mouldboard; 2 - no-till; 3 - combined; 4 - differentiated; 5 - surface; 6 - sweep blade. Soil layer, cm: а - 0-10; б - 10-20; в - 20-30

ротаций с применением различных систем основной обработки привело к изменениям структурного состояния почвы, которое заключается в количественном перераспределении в сравнении с исходным состоянием фракционного состава структуры по горизонтам почвы.

Произошло снижение глыбистой фракции (более 10 мм) в слое 0–10 см от исходного значения 24,0% до 7,3–18,4%, в относительных значениях на 23,3–69,5%. В слоях почвы 10–20 и 20–30 см, наоборот, содержание глыбистой фракции увеличивалось в основном по всем изучаемым системам обработки, кроме отвальной: в слое 10–20 см – от 25,5 до 32,0–40,8%, 20–30 см – от 31,0 до 34,3–57,5%, в абсолютных значениях соответственно в слое почвы 10–20 см на 6,5–15,3%, 20–30 см – на 3,3–26,5% (см. рисунок).

В целом в слое 0–20 см за счет отмеченного перераспределения по слоям почвы содержание глыбистой фракции не имело столь значительных отличий от исходного состояния в этом слое. Содержание агрегатов >10 мм в слое 0–20 см в начале исследований составляло 24,7%, по истечении 30 лет – 15,4–29,5%. В слое почвы 0–30 см исходное содержание этих агрегатов равнялось 26,8%, в конце исследований – 21,7–40,3%. Глыбистость в слое 0–30 см не увеличивалась только по отвальной системе обработки (21,7%).

Увеличение глыбистости в слое почвы 0–30 см на 22,3–50,0% в сравнении с исходным состоянием отмечено по вариантам безотвальной, комбинированной, поверхностной системам обработки. Оно происходило преимущественно за счет увеличения фракции агрегатов >10 мм в нижнем слое 20–30 см от 31,1% при исходном состоянии до 57,5–62,4%, в относительных значениях на 85,0–100%.

Микроструктура (фракции менее 0,25 мм) в общей структуре не была преобладающей. Максимальное ее содержание отмечено в слое почвы 0–10 см – 7,80–11,65%, 10–30 см – 0,91–1,86% (см. рисунок), в целом по слоям почвы 0–20 и 0–30 см – соответственно

3,30–6,74 и 3,00–5,10% (см. табл. 1). В связи с этим содержание агрономически ценной фракции в основном слое, в особенности в слое 10–30 см, обуславливалось присутствием и величиной содержания глыбистой фракции.

Снижение глыбистости вело к увеличению содержания агрономически ценной фракции структуры и, наоборот, увеличение глыбистости – к снижению содержания агрономически ценных агрегатов.

Обобщая изменения структурного состояния почвы за 30-летний период использования пашни по содержанию агрономически ценной фракции 10,00–0,25 мм в целом по слою 0–20 см, можем сказать следующее. Отмеченные изменения структурного состава почвы в слое 0–10 см в пользу устойчивого улучшения на 15,6–22,8%, сохранение близких показателей, в особенности по отвальной и плоскорезной системам обработки, или некоторое снижение ее по остальным изучаемым вариантам обработки в слое 10–20 см в сравнении с исходным состоянием способствовали тому, что почва слоя 0–20 см сохраняла структурное состояние, не уступающее исходному по большинству исследуемых вариантов обработки почвы (см. табл. 1).

В начале опыта исходный коэффициент структурности был равен 2,19, по окончании исследований – 2,07–3,51. При этом в слое почвы 0–20 см по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки произошло увеличение содержания агрономически ценной структуры 10,0–0,25 мм в абсолютных значениях на 4,20–9,23%, что составляет 6,12–13,45% по отношению к исходному значению 68,6%. Коэффициент структурности 2,67–3,51 по ним был выше исходного на 0,48–1,32, или 21,9–60,3%. По безотвальной, комбинированной, поверхностной системам обработки содержание данных структурных отдельных было практически равным (67,5–69,8%, $K_{стр} = 2,07–2,31$) исходному уровню.

В слое почвы 0–20 см самый высокий показатель содержания агрономически ценной структуры отмечен по отвальной – 77,8%,

плоскорезной – 74,9% и по дифференцированной – 72,8% системам обработки с коэффициентом структурности 2,67–3,51. Остальные системы уступали отвальной по содержанию агрономически ценных агрегатов 8,0–10,4%, по $K_{стр}$ – 0,60–1,44 ед.

Средневзвешенный диаметр агрегатов в слое 0–20 см, как правило, по всем вариантам основной обработки, кроме отвальной и плоскорезной, составлял 4,26–4,88 мм. Данный показатель за исследуемый период увеличивался в сравнении с исходным от 5,13 до 5,38–6,22 мм, т.е. на 0,25–1,09 мм (4,9–21,2%) в основном за счет увеличения содержания комочков >10 мм в слое 10–20 см (см. табл. 2).

Наиболее значительным увеличением размера агрегатов в сравнении с исходным состоянием было по безотвальной и поверхностной системам обработки – на 0,57–1,09 мм (11,1–21,2%). Подобная тенденция увеличения СВД агрегатов при минимизации обработки также установлена Е.В. Дубовик и другими на типичном черноземе [12].

Средневзвешенный размер агрономически ценной фракции (10,0–0,25 мм) по боль-

шинству изучаемых вариантов обработки составил 3,00–3,29 мм. Он повысился на 0,21–0,58 мм, или 7,7–21,2%, в сравнении с исходным (2,71 мм) за счет существенного увеличения доли данной фракции (10,0–0,25 мм) в слое 0–10 см. По отвальной системе средневзвешенный размер агрономически ценной фракции оставался близким к исходному состоянию – 2,70 мм.

Анализ структурного состояния в целом слоя почвы 0–30 см показал, что с увеличением глубины профиля почвы, вовлечением (в отличие от слоя 0–20 см) дополнительно нижнего слоя 20–30 см, с еще большим, чем в слое 10–20 см, возрастанием в сравнении с исходным состоянием доли содержания глыбистой структуры почвы вело к еще большему, чем в слое 0–20 см, снижению содержания агрономически ценной структуры.

В то же время в слое почвы 0–30 см самые высокие показатели структурного состояния агрономически ценной фракции были по отвальной системе обработки (73,2%), плоскорезной (69,8%) и дифференцированной (66,4%) с коэффициентом структурности 1,97–2,73. Перечисленные системы обра-

Табл. 2. Величина средневзвешенного диаметра агрегатов по почвенным горизонтам в зависимости от системы основной обработки почвы по завершении 6-й ротации зернопарового севооборота

Table 2. Value of average weighted diameter of aggregates by soil horizons depending on the systems of main tillage at the end of the 6th rotation of grain and fallow crop rotation

Номер варианта	Слой почвы, см					
	0–10		10–20		20–30	
	Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм					
	Всего агрегатов	10,00–0,25	Всего агрегатов	10,00–0,25	Всего агрегатов	10,00–0,25
Исходное состояние (1988 г.)						
0	4,77	2,35	5,62	3,07	6,33	3,22
По завершении 6-й ротации (2019 г.)						
1	2,80	2,04	5,71	3,35	6,48	3,05
2	5,38	3,53	7,07	3,05	8,29	2,05
3	4,28	2,96	6,98	2,87	7,32	2,87
4	4,26	2,97	6,49	3,29	7,29	2,78
5	3,93	2,67	5,83	3,34	7,11	3,20
6	4,22	3,12	7,18	3,09	8,06	2,31
НСР ₀₅	1,44	0,95	1,36	0,50	1,10	0,29

ботки обеспечивали поддержание структурного состояния в сравнении с исходным – 68,0% и коэффициента структурности – 2,13 (отвальная система – выше). Безотвальная, комбинированная и поверхностная обработки приводили к снижению содержания данной структуры в сравнении с отвальной системой на 9,7–15,9%, снижению коэффициента структурности на 0,99–1,39, главным образом, за счет повышенного в сравнении с контролем содержания глыбистой фракции в слое почвы 10–20 см на 8,5–17,5%, 20–30 см – на 10,3–28,1% (см. табл. 1).

С увеличением глубины профиля почвы до 0–30 см отмечено еще большее, чем в слоях 0–10 и 0–20 см, увеличение общего средневзвешенного размера агрегатов до 5,00–6,91 мм, что объясняется увеличением объема почвы глыбистой фракции. При исходном значении средневзвешенного размера агрегатов 5,53 мм в слое почвы 0–30 см к завершению 6-й ротации севооборота средневзвешенный размер несколько снизился – на 0,53 мм, или на 9,6%, только по отвальной системе обработки, оставаясь на уровне с исходным состоянием по плоскорезной обработке – 5,63 мм. По всем остальным вариантам обработки произошло увеличение средневзвешенного размера агрегатов на 0,49–1,38 мм, или 8,9–25,0% (см. табл. 2).

Данные определения средневзвешенного размера агрономически ценных агрегатов свидетельствуют о высокой стабильности этого показателя в слое почвы 0–30 см. По всем изучаемым системам обработки показатель был благоприятным, близким к оптимальным значениям, так как средневзвешенный размер 2,81–3,07 мм соответствует зернистому состоянию почвенной структуры [10]. Системы обработки за наблюдаемый период исследований оказывали в основном равноценное влияние на показатель средневзвешенного размера. Тенденция некоторого увеличения его в сравнении с контрольным вариантом на 0,20–0,26 мм, или 7,1–9,2%, отмечена лишь по плоскорезной и дифференцированной системам обработки.

Определение урожайности зерновых в среднем по заключительной ротации сево-

оборота (2014–2019 гг.) показало, что исследуемые системы основной обработки почвы обеспечивали довольно близкий уровень урожайности зерновых – 2,85–3,07 т/га, что свидетельствует о благоприятных и близких условиях структурно-агрегатного состояния, а также условиях обеспеченности влагой и плотности почвы [16].

ВЫВОДЫ

1. Темно-серые лесные почвы лесостепной зоны обладают благоприятным и устойчивым структурно-агрегатным состоянием. За 30-летний период использования пашни почва слоя 0–20 см сохраняла структурное состояние, не уступающее исходному по большинству исследуемых вариантов обработки. С увеличением глубины профиля почвы за счет увеличения за период исследований доли глыбистой фракции в нижнем слое (10–30 см) в слое 0–30 см происходило снижение содержания агрономически ценной структуры в сравнении со слоем 0–20 см, а также с исходным состоянием по большинству исследуемых вариантов систем обработки.

2. Продолжительное использование пашни привело к качественным изменениям структурного состояния, заключающимся в количественном перераспределении в сравнении с исходным состоянием фракционного состава структуры по горизонтам почвы. Произошло снижение содержания глыбистой фракции (>10 мм) в слое 0–10 см в относительных значениях на 23,3–69,5%. В слое почвы 10–30 см содержание глыбистой фракции увеличивалось на 25,5–85,5%. При незначительной доле в общей структуре агрегатов менее 0,25 мм отмеченные изменения содержания глыбистой фракции вели к увеличению содержания агрономически ценной фракции в слое 0–10 см на 15,6–22,8%, коэффициента структурности от 1,94 при исходном состоянии до 3,23–4,27 и, наоборот, к снижению агрономически ценной фракции агрегатов в слое 10–30 см на 6,7–44,8%.

3. Самое высокое содержание агрономически ценной структуры в слое почвы

0–20 см отмечено по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки (72,8–77,8%). За 30-летний период содержание агрономически ценной структуры (10–0,25 мм) в слое 0–20 см увеличивалось по данным обработкам на 6,12–13,45%, коэффициент структурности – на 21,9–60,3%. По остальным изучаемым системам обработки содержание данной фракции (67,5–69,8%) и коэффициент структурности (2,07–2,31) были близкими исходному состоянию 68,6% и $K_{стр} = 2,19$. Средневзвешенный диаметр агрономически ценных агрегатов увеличивался от 2,71 мм при исходном состоянии до 3,00–3,29 мм (на 7,7–21,2%) за счет существенного увеличения доли этих агрегатов в слое 0–10 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков Д.Г. Обработка почвы и прямой посев: агрофизические свойства черноземов и урожайность полевых культур // Земледелие. 2021. № 2. С. 37–43. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10208.
2. Еремина Д.В., Груздева Н.А., Еремин Д.И. Сравнительная оценка структурно-агрегатного состава темно-серых лесных почв лесостепной зоны Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2019. № 12 (153). С. 57–63. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-57-63.
3. Polakowski C., Sochan A., Ryżak M., Beczek M., Mazur R., Majewska K., Turski M., Bieganowski A. Measurement of soil dry aggregate size distribution using the laser diffraction method // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 211. P. 105023. DOI: 10.1016/j.still.2021.105023.
4. Chris Bluett, Jeff N. Tullberg, John E. McPhee, Diogenes L. Soil and Tillage Research: Why still focus on soil compaction? // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. P. 104282. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.028.
5. Самофалова И.А. Влияние способов основной обработки на структурно-агрегатный состав дерново-подзолистой почвы в Нечерноземной зоне // Земледелие. 2019. № 1. С. 24–28. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10107.
6. Мамонтов В.Г., Байбеков Р.Ф., Лазарев В.И., Юдин С.А., Цветков С.А., Таллер Е.Б. Изменение структурного состояния чернозема типичного Курской области под влиянием бессменных пара и озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 1. С. 7–10. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10102.
7. Blanco-Canqui H., Ruis S.J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326, P. 164–200. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.011.
8. Kuntal M., Hatiab Pramod Jhaab, Ram C. Dalal, Somasundaram Jayaraman, Yash P. Dang Peter, M. Kopittke, Gunnar Kirchhofa Neal W. Menzies. 50 years of continuous no-tillage, stubble retention and nitrogen fertilization enhanced macro-aggregate formation and stabilisation in a Vertisol // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 214. P. 105163. DOI: 10.1016/j.still.2021.105163.
9. Udayakumar Sekaran, Kavya Laxmisagara Sagar, Sandeep Kumar. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 208. P. 104885. DOI: 10.1016/j.still.2020.104885.
10. Пегова Н.А. Изменение агрегатного состава и водопрочности пахотного слоя под влиянием систем обработки почвы и вида пара // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 8–11.
11. Антонов В.Г. Влияние минимальных способов основной обработки почвы на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы в Чувашской Республике // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21 (6). С. 733–742. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742.
12. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Шумаков А.В. Влияние приемов основной обработки почвы на макроструктуру чернозема типичного // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1195–1206. DOI: 10.31857/S0032180X21100051.
13. Романов В.Н., Ивченко В.К., Ильченко И.О., Луганцева М.В. Влияние приемов основной обработки почвы в севообороте на динамику влажности и агрофизические свойства чернозема выщелоченного // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10508.
14. Воронцов В.А., Скорочкин Ю.П. Зависимость структурно-агрегатного состояния чернозема типичного от различных систем основной обработки почвы // Владимирский

- земледелец. 2019. № 2 (88). С. 24–27. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10062.
15. Никитин В.В., Соловиченко В.Д., Навальнев В.В., Карабутов А.П. Влияние севооборотов, способов обработки почвы и удобрений на изменения органического вещества в черноземе типичном // *Агрохимия*. 2017. № 2. С. 3–10.
16. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Агрофизические и агрохимические свойства темно-серых лесных почв при различных системах основной обработки // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2021. № 3 (51). С. 15–23. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-2.
- ## REFERENCES
1. Polyakov D.G. Tillage and direct seeding: agrophysical properties of chernozems and yield of field crops. *Zemledelie = Zemledelie*, 2021, no. 2, pp. 37–43. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10208.
2. Eremina D.V., Gruzdeva N.A., Eremin D.I. Comparative assessment of the structural and aggregate composition of dark gray forest soils of the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Vestnik KraSGAU = Bulletin of KrasSAU*, 2019, no. 12 (153), pp. 57–63. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-57-63.
3. Polakowski C., Sochan A., Ryżak M., Beczek M., Mazur R., Majewska K., Turski M., Bieganski A. Measurement of soil dry aggregate size distribution using the laser diffraction method. *Soil and Tillage Research*, 2021, vol. 211, pp. 105023. DOI: 10.1016/j.still.2021.105023.
4. Chris Bluett, Jeff N. Tullberg, John E. McPhee, Diogenes L. Soil and Tillage Research: Why still focus on soil compaction? *Soil and Tillage Research*, 2019, vol. 194, pp. 104282. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.028.
5. Samofalova I.A. Influence of tillage methods on structural and aggregate composition of sod-podzolic soil in the Non-Chernozem zone. *Zemledelie = Zemledelie*, 2019, no. 1, pp. 24–28. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10107.
6. Mamontov V.G., Baibekov R.F., Lazarev V.I., Yudin S.A., Tsvetkov S.A., Taller E.B. Change of the structure of typical chernozem in Kursk region under the influence of permanent fallow and winter wheat monoculture. *Zemledelie = Zemledelie*, 2019, no. 1, pp. 7–10. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10102.
7. Blanco-Canqui H., Ruis S.J. No-tillage and soil physical environment *Geoderma*, 2018, vol. 326, pp. 164–200. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.011.
8. Kuntal M., Hatiab Pramod Jhaab, Ram C. Dalal, Somasundaram Jayaraman, Yash P. Dang Peter, M. Kopittke, Gunnar Kirchhofa Neal W. Menzies. 50 years of continuous no-tillage, stubble retention and nitrogen fertilization enhanced macro-aggregate formation and stabilisation in a Vertisol. *Soil and Tillage Research*, 2021, vol. 214, pp. 105163. DOI: 10.1016/j.still.2021.105163.
9. Udayakumar Sekaran, Kavya Laxmisagara Sagar, Sandeep Kumar. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. *Soil and Tillage Research*, 2021, vol. 208, pp. 104885. DOI: 10.1016/j.still.2020.104885.
10. Pegova N.A. Changes in the aggregate composition and water resistance of the arable layer depending on the soil treatment systems and fallow type. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2016, no. 6 (62), pp. 8–11. (In Russian).
11. Antonov V.G. The effect of minimum methods of primary tillage on the structural and aggregate composition of gray forest soil in the Chuvash Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2020, no. 21 (6), pp. 733–742. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742.
12. Dubovik E.V., Dubovik D.V., Shumakov A.V. Influence of primary tillage practices on the macrostructure of typical chernozem. *Pochvo-vedenie = Eurasian Soil Science*, 2021, no. 10, pp. 1195–1206. (In Russian). DOI: 10.31857/S0032180X21100051.
13. Romanov V.N., Ivchenko V.K., Il'chenko I.O., Lugantseva M.V. Influence of tillage methods in a crop rotation on moisture dynamics and agrophysical properties of leached chernozem. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 5, pp. 32–34. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10508.
14. Vorontsov V.A., Skorochkin Yu.P. Dependence of structural-physical state of typical black soil on various systems of main tillage. *Vladimirskii zemledelets = Vladimir agricolist*,

- 2019, no. 2 (88), pp. 24–27. (In Russian). DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10062.
15. Nikitin V.V., Solovichenko V.D., Naval'nev V.V., Karabutov A.P. The effects of crop rotation, soil tillage methods and fertilizers on organic matter content in typical chernozem. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry*, 2017, no. 2, pp. 3–10. (In Russian).
16. Perfil'ev N.V., Vyushina O.A. Agrophysical and agrochemical properties of dark gray forest soils with different systems of basic tillage. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, no. 3 (51), pp. 15–23. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-2.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Перфильев Н.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 625501, Тюмень, пос. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

Вьюшина О.А., научный сотрудник; e-mail: vyushina63@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Nikolay V. Perfil'yev**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; **address:** 2, Burlaki St., Moskovskiy vil., Tyumen, 625501, Russia; e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

Olga A. Vyushina, Researcher; e-mail: vyushina63@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 26.05.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.08.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023

ОСОБЕННОСТИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА

✉ Бильдиева Е.А., Ерошенко Ф.В.

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

Ставропольский край, г. Михайловск, Россия

✉ e-mail: bildieva@rambler.ru

Представлены результаты исследования азотного питания растений озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в стационарном опыте по двум технологиям: прямого посева (без обработки почвы) и общепринятой технологии на различных фонах минерального питания. Изучали накопление азота в органах растений на разных этапах развития озимой пшеницы (по методике В.Т. Куркаева) и активность фермента нитратредуктазы в листьях (по методике Мульдера в модификации Б.И. Токарева). Установлено, что применение минеральных удобрений в технологии прямого посева положительно влияет на такой физиологический процесс, как минеральное питание растений озимой пшеницы, существенно увеличивая накопление в них азота. Использование почвопокровной культуры в севообороте по технологии прямого посева увеличило содержание азота в растениях озимой пшеницы на 32,7% по сравнению с вариантом, где применяли только удобрения, в общепринятой технологии – на 29,1% по отношению к варианту с тем же фоном минерального питания. Высокая активность фермента нитратредуктазы в листьях в репродуктивный период свидетельствует о наличии большого количества нитратов в растениях озимой пшеницы. Активность фермента в листьях растений, выращенных по технологии без обработки почвы на фоне применения удобрений и почвопокровной культуры, была существенно выше, чем на остальных вариантах в начале репродуктивного периода (на 72–89%), и достигала максимального значения через 14 дней (4,15 мкМ/г·ч).

Ключевые слова: озимая пшеница, технология прямого посева, почвопокровная культура, минеральное питание, содержание азота, нитратредуктаза

SPECIFIC FEATURES OF NITROGEN NUTRITION OF WINTER WHEAT IN NO-TILL TECHNOLOGY

✉ Bildieva E.A., Eroshenko F.V.

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre

Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia

✉ e-mail: bildieva@rambler.ru

The results of the study of nitrogen nutrition of winter wheat plants cultivated by No-till technology in the zone of unstable moisture in the Stavropol Territory are presented. The studies were conducted in 2020–2022 in a stationary experiment using two technologies: direct seeding (no tillage) and conventional technology on different backgrounds of mineral nutrition. Nitrogen accumulation in plant organs at different stages of winter wheat development (by V.T. Kurkaev method) and nitrate reductase enzyme activity in leaves (by Mulder method modified by B.I. Tokarev) were studied. It has been established that the use of mineral fertilizers in the technology of direct seeding has a positive effect on such a physiological process as mineral nutrition of winter wheat plants significantly increasing the accumulation of nitrogen in them. The use of a cover-ground culture in the crop rotation by direct seeding technology contributed to an increase in the nitrogen content in winter wheat plants by 32.7% compared to the variant where only fertilizers were used, as well as by 29.1% compared to the variant with the same background mineral nutrition in conventional technology. High activity of nitrate reductase enzyme in leaves during the reproductive period indicates the presence of large amounts of nitrates in winter wheat plants. The enzyme activity in the leaves of plants grown according to the technology without soil treatment against the background of using fertilizers and cover-ground cultures was significantly higher than in the other variants at the beginning of the reproductive period (by 72–89%) and reached its maximum after 14 days (4.15 μM/g·h).

Keywords: winter wheat, No-till technology, cover-ground culture, mineral nutrition, nitrogen content, nitrate reductase

Для цитирования: Бильдиева Е.А., Ерошенко Ф.В. Особенности азотного питания озимой пшеницы в технологии прямого посева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 16–24. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-2>

For citation: Bildieva E.A., Eroshenko F.V. Specific features of nitrogen nutrition of winter wheat in No-till technology. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 16–24. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Деградация и снижение плодородия сельскохозяйственных земель являются всероссийской проблемой [1–4]. В связи с этим разрабатывается национальная стратегия, решающая задачи продовольственной безопасности, сохранения экосистем, адаптации к изменению климата, а также восстановления плодородия сельскохозяйственных земель. В настоящее время актуален переход на экологически безопасные технологии, однако не все сельхозпроизводители согласны отказаться от традиционно используемых технологий [5–9]. Поэтому необходимо формировать у аграриев понятия о научно обоснованном подходе к земледелию, о наличии технологий, которые позволяют получать высокую урожайность, сохраняя плодородие почв и ресурсы [10–12].

К системам земледелия, позволяющим восстановить плодородие, относится технология прямого посева [13, 14]. Однако в процессе перехода на данную технологию производства сельскохозяйственных культур без внесения удобрений сложно получить высокую урожайность. Постепенно снизить дозы вносимых удобрений возможно при использовании в севообороте почвопокровных культур, которые являются постоянно возобновляемым источником биологического азота в почве [15]. Почвопокровные сидеральные культуры являются холодостойкими, накопление их биомассы происходит в периоды, незадействованные основными культурами севооборота, что позволяет рационально использовать почвенно-климатические условия региона. Возделывание почвопокровных культур позволяет формировать органические удобрения непосредственно на поле. В процессе разложения

органических остатков происходит высвобождение элементов питания, поэтому, чтобы восстановить плодородие почвы, необходимо постоянно обогащать почву свежим органическим веществом [16, 17].

Цель исследований – изучить особенности азотного питания растений озимой пшеницы при возделывании по технологии прямого посева.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2020–2022 гг. на экспериментальном стационаре Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра, расположенном в третьей почвенно-климатической зоне Ставропольского края – зоне неустойчивого увлажнения. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднесуглинистый, характеризуется низким содержанием гумуса (3,87%) и нитратного азота (11,9 мг/кг почвы), средним содержанием подвижного фосфора (18,7 мг/кг) (по Мачигину) и средней обеспеченностью обменным калием (245 мг/кг).

В качестве объекта исследований выбран сорт мягкой озимой пшеницы Виктория одесская. Озимая пшеница размещена в севообороте: горох – озимая пшеница – подсолнечник – кукуруза. Делянки площадью 300 м² в опыте размещены в два яруса в трехкратной повторности (учетная площадь 30 м²): 1) технология прямого посева – No-till (без обработки почвы); 2) общепринятая технология (традиционная технология с обработкой почвы, рекомендованная научными учреждениями для зоны неустойчивого увлажнения).

Каждый ярус разделен на три варианта:

- 1) без удобрений;
- 2) удобрённый (N₉₀P₆₀K₆₀);

3) удобренный ($N_{90}P_{60}K_{60}$) на фоне применения почвопокровной культуры (ППК) перед посевом предшественника озимой пшеницы – гороха.

Посев озимой пшеницы проводили в оптимальные для почвенно-климатической зоны сроки – I декада октября, норма высева – 4,5 млн семян/га (210 кг/га).

В технологии без обработки почвы посев производили сеялкой прямого посева GIMETAL с одновременным внесением минеральных удобрений. Традиционная технология включает двукратное лущение сразу после уборки предшественника, предпосевную культивацию, посев сеялкой СЗ-3,6 с внесением минеральных удобрений и прикатывание ЗКШ-6. Подкормка аммиачной селитрой, обработка гербицидом и фунгицидом произведены с помощью РМГ-4 и ОП-2000. Уборка урожая осуществлена комбайном Сампо-130.

В качестве почвопокровной культуры применяли озимую рожь, которую сеяли после уборки кукурузы (в зависимости от погодных условий года срок сева варьировал от II декады сентября до I декады октября). Весной перед посевом гороха в технологии прямого посева рожь уничтожали гербицидом сплошного действия, в общепринятой технологии проводили обработку почвы дисковой бороной.

В качестве минеральных удобрений применяли нитроаммофоску ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и аммиачную селитру (N_{34}). Общая доза минеральных удобрений составляла ($N_{90}P_{60}K_{60}$): ($N_{60}P_{60}K_{60}$) – вносили нитроаммофоску вразброс перед посевом 250 кг/га и при посеве сеялкой 125 кг/га, (N_{30}) – аммиачную селитру в фазу весеннего кушения вносили вразброс 88 кг/га.

Показатели роста и развития растений озимой пшеницы изучали согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Определение активности нитратредуктазы проводили по

методике Мюльдера в модификации Б.И. Токарева¹, содержания азота в растениях и зерне – по методике В.Т. Куркаева² с соавторами. Учет урожайности проводили методом прямого комбайнирования в фазу полной спелости зерна. Достоверность полученных данных оценивали методом статистического анализа с помощью программ AgCStat и Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из главных физиологических процессов в растительном организме является метаболизм азота, так как азот – это ключевой компонент простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, ферментов, алкалоидов и многих других органических веществ, имеющих большое значение в обмене веществ.

Многочисленными исследованиями установлено, что около 70% азота, накопленного растениями озимой пшеницы в процессе вегетации, поступает до начала репродуктивного периода, затем его потребление замедляется, и оставшаяся часть поглощается уже в период налива зерна. Однако анализ динамики накопления азота растениями озимой пшеницы в наших исследованиях показал, что данная закономерность характерна только для посевов по общепринятой технологии (см. рис. 1).

Процесс накопления азота в растениях озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева, до начала репродуктивного периода протекает менее интенсивно, чем при общепринятой технологии. Так, в фазе выхода в трубку на фоне без применения удобрений по технологии прямого посева содержание азота в растениях озимой пшеницы было на 27,9% ниже, чем при общепринятой технологии. На удобренном фоне разница составила 20,4%, на фоне с применением почвопокровной культуры – 20,0%. К фазе колошения на неудобренном фоне разница в содержании азота увеличилась, а на фоне применения удобрений – сокра-

¹Токарев Б.И. Методы определения величины нитратредуктазной активности у пшеницы и ячменя // Научные труды Сибирского отделения ВАСХНИЛ. Новосибирск, 1977. С. 58–65.

²Куркаев В.Т., Ерошкина С.М., Пономарев А.Н. Сельскохозяйственный анализ и основы биохимии. М.: Колос, 1977. 239 с.

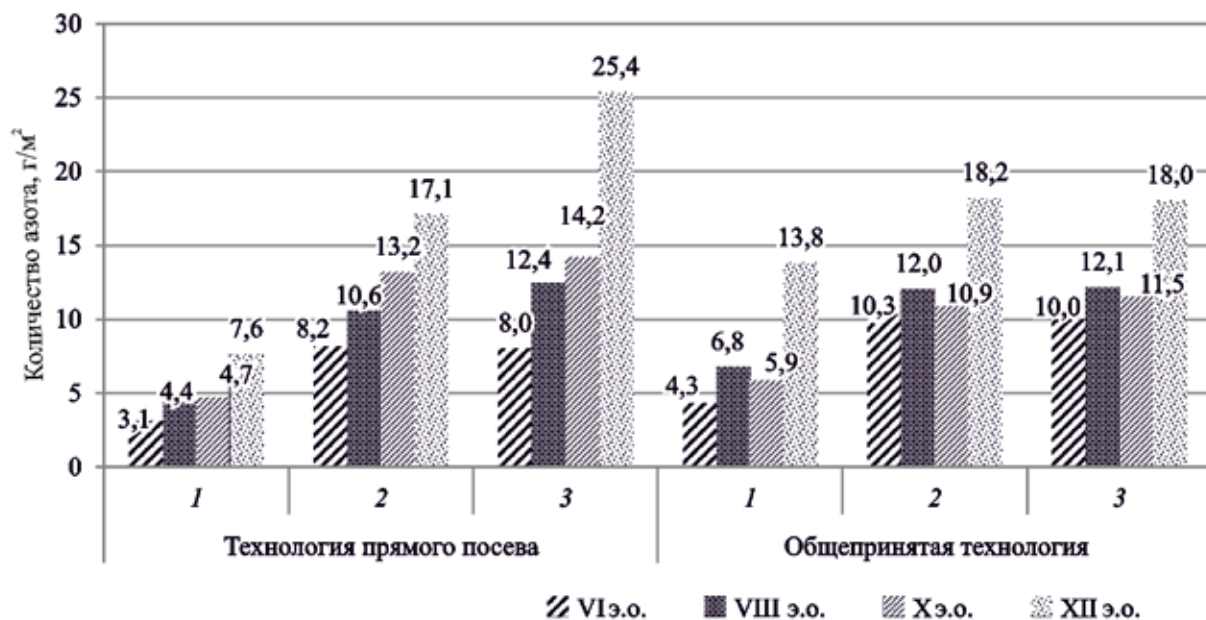


Рис. 1. Динамика накопления азота в растениях озимой пшеницы (среднее за 2020–2022 гг.) в вариантах: 1 – без удобрений; 2 – удобрённый; 3 – удобрённый ППК (различия значимы для $p < 0,05$, $t_{\text{ст}} = 3,5$, $t_{\text{крит}} = 2,23$)

Fig. 1. Dynamics of nitrogen accumulation in winter wheat plants (on average for 2020–2022) in the variants: 1 – no fertilizer; 2 – fertilized; 3 – CGC fertilized (differences significant for $p < 0.05$, $t_{\text{st}} = 3.5$, $t_{\text{crit}} = 2.23$)

тилась до 11,7%. На варианте, где удобрения вносили на фоне применения почвопокровной культуры, в растениях, возделываемых по технологии прямого посева, количество азота на 2,4% превышало данный показатель у посевов по общепринятой технологии. На X этапе органогенеза (э.о.) у посевов по общепринятой технологии отмечали снижение концентрации азота на всех вариантах, тогда как у растений на вариантах с технологией прямого посева, напротив, его содержание возрастало на 6,4–19,7% по отношению к VIII этапу органогенеза. К концу вегетации наиболее высоким содержанием азота отличались растения озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева, на варианте с внесением удобрений на фоне почвопокровной культуры – 25,4 г/м², что на 29,1% выше, чем на том же фоне по общепринятой технологии, и на 28,3% – на удобрённом фоне.

Главным источником азота для растений, которые не фиксируют его в симбиозе с микроорганизмами, являются минеральные формы азота в почвах – нитраты, нитриты и аммиак. Высшие растения ассимилируют неорганический азот преимущественно

в форме нитратов, которые внутри клеток восстанавливаются до аммония и включаются в синтез аминокислот. Ферментом, отвечающим в растении за восстановление нитрата до нитрита, является нитратредуктаза, активность которой индуцируется путем внесения субстрата, то есть, чем больше нитратов поступает в растение, тем выше активность фермента. Процесс восстановления нитратов осуществляется в корнях и в листьях растений. Озимая пшеница обладает достаточно высокой способностью к восстановлению нитратов наземной частью. Наибольшей активностью в восстановлении азота к началу репродуктивного периода обладает флаговый лист [18].

Изучение активности нитратредуктазы во флаговых листьях озимой пшеницы проводили во все годы исследований. Однако если в 2020 г. более высокая активность этого фермента отмечена на вариантах, где содержание азота к концу вегетации было выше, то в 2021 г. наиболее активной нитратредуктаза была на вариантах без удобрений. Поэтому в 2022 г. активность нитратредуктазы определяли дважды, в начале фазы колошения (30 мая)

и спустя две недели (14 июня). Установлено, что в начале репродуктивного периода активность фермента в листьях была достаточно низкой практически на всех вариантах опыта и варьировала от 0,2 до 0,51 мкМ/г·ч, за исключением варианта с применением удобрений на фоне почвопокровной культуры по технологии прямого посева, где она составила 1,82 мкМ/г·ч (см. рис. 2).

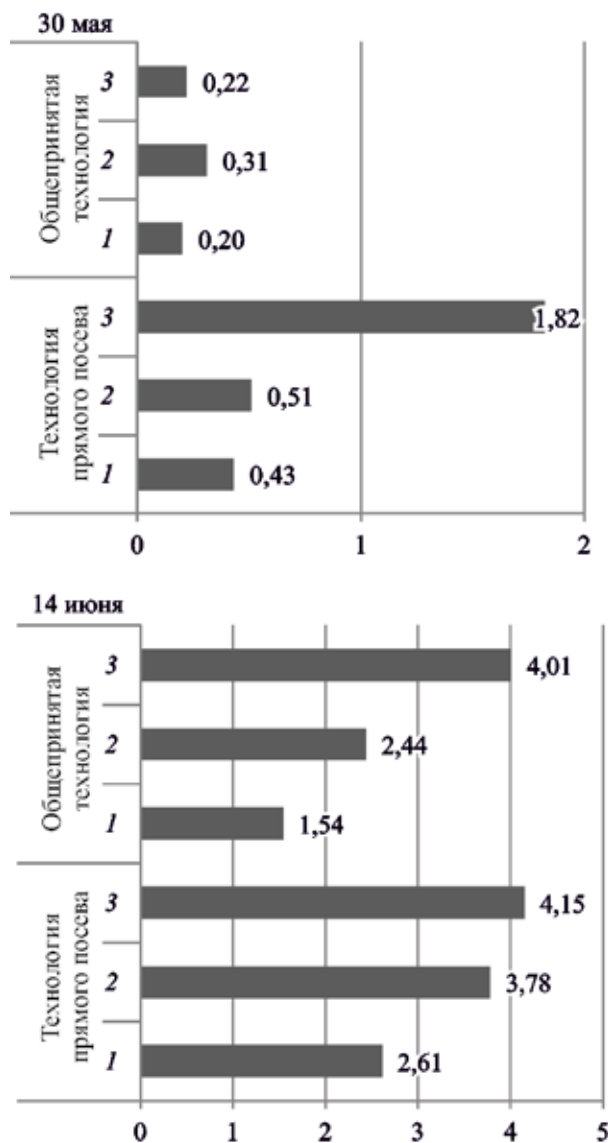


Рис. 2. Активность фермента нитратредуктазы в листьях озимой пшеницы в репродуктивный период развития растений в вариантах: 1 – без удобрений; 2 – удобрённый; 3 – удобрённый ППК, мкМ/г·ч

Fig. 2. Activity of the enzyme nitrate reductase in winter wheat leaves during the reproductive period of plant development in the variants: 1 - no fertilizer; 2 - fertilized; 3 - CGC fertilized, µM/g·h

Анализ активности нитратредуктазы в конце колошения – начале цветения озимой пшеницы показал довольно высокий ее рост. В листьях растений, выращенных по общепринятой технологии, активность нитратредуктазы в зависимости от фона минерального питания изменялась от 1,54 до 4,01 мкМ/г·ч, тогда как на вариантах с технологией прямого посева – от 2,61 до 4,15 мкМ/г·ч.

Наиболее высокая активность фермента в данный период развития озимой пшеницы отмечена на вариантах с применением удобрений на фоне почвопокровной культуры: 4,01 мкМ/г·ч по общепринятой технологии и 4,15 мкМ/г·ч по технологии прямого посева.

В процессе минерального питания важна не только интенсивность потребления азота, но и содержание его в конечном продукте – зерне (см. рис. 3). В среднем за годы исследований более высоким содержанием азота отличалось зерно озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева с применением минеральных удобрений на фоне почвопокровной культуры (19,3 г/м²), что на 26,9% выше, чем на удобренном фоне, и на 16,1% больше, чем у посевов по общепринятой технологии с применением удобрений.

Результатом всех физиологических процессов в растениях озимой пшеницы, на-



Рис. 3. Количество азота, накопленного в зерне озимой пшеницы (среднее за 2020–2022 гг.), в вариантах: 1 – без удобрений; 2 – удобрённый; 3 – удобрённый ППК (различия значимы для $p < 0,05$, $t_{ст} = 4,9$, $t_{крит} = 2,23$)

Fig. 3. The amount of nitrogen accumulated in winter wheat grain (on average for 2020-2022), in the variants: 1 - no fertilizer; 2 - fertilized; 3 - CGC fertilized (differences significant for $p < 0.05$, $t_{st} = 4.9$, $t_{crit} = 2.23$)

Урожайность озимой пшеницы (в среднем за 2020–2022 гг.)
Winter wheat yield (on average for 2020-2022)

Технология (А)	Фон (В)	Урожайность, т/га	Прибавка к контролю	
			т/га	%
Прямого посева	Без удобрений	3,98	–	–
	Удобрённый	5,42	1,43	36,0
	Удобрённый ППК	5,57	1,59	39,9
	Среднее	4,99		
Общепринятая	Без удобрений	4,30	–	–
	Удобрённый	5,36	1,06	24,6
	Удобрённый ППК	5,23	0,93	21,6
	Среднее	4,96		
$HCP_{05} \text{ (фактор А)} = 0,24$	$HCP_{05} \text{ (фактор В)} = 0,29$	$HCP_{05} \text{ (AB)} = 0,41$		

правленных на их рост и развитие, является урожайность. Наибольшая урожайность получена на варианте с применением почвопокровной культуры в технологии прямого посева (5,57 т/га), что на 2,7% (0,15 т/га) выше, чем на удобренном фоне (см. таблицу).

Применение почвопокровной культуры в севообороте по общепринятой технологии было неэффективным, так как приводило к снижению урожайности по сравнению с вариантом, где применяли только удобрения на 2,4% (0,13 т/га).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлены отличия процесса накопления азота растениями озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева:

- интенсивность поглощения азота в генеративный период развития растений ниже, чем при возделывании по общепринятой технологии;

- после колошения интенсивность ассимиляции азота начинает возрастать, о чем свидетельствует высокая активность фермента нитратредуктазы в листьях;

- интенсивность потребления азота не снижается в период формирования и налива зерна.

Также выявлена высокая эффективность использования почвопокровной культуры при возделывании по технологии прямого

посева: усиливается процесс накопления азота в растениях и повышается урожайность зерна в среднем на 2,7% в сравнении с применением только удобрений (в отдельные годы такое повышение может достигать 3,5–4,0%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдохина О.С. Мониторинг состояния земель сельскохозяйственного назначения и оценка использования технологических приемов почвозащитной системы земледельцами Омской области // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. № 6. С. 182–192. DOI: 10.34755/IROK.2020.20.63.050.
2. Подколзин О.А., Соколова И.В., Слюсарев В.Н., Осипов А.В., Швеиц Т.В., Перов А.Ю. Мониторинг и оценка состояния почв степных агроландшафтов Северо-Западного Кавказа // Агрохимический вестник. 2019. № 1. С. 11–15. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10003.
3. Торилов В.Е., Васькин В.Ф., Дронов А.В., Васькина Т.И. Современное состояние, тенденции и проблемы производства зерна в Российской Федерации // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1 (38). С. 15–23. DOI: 10.35523/2307-5872-2022-38-1-15-23.
4. Селезнева Н.А., Тишкова А.Г., Федорова Т.Н., Асеева Т.А. Влияние антропогенной нагрузки на изменение агробиологических свойств почвы, урожайность и качество

- зерна яровой пшеницы // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2021. № 3 (217). С. 113–118. DOI: 10.37102/0869-7698_2021_217_03_18.
5. Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Челбин С.М., Головкин А.Н. Концепция развития системы сохранения и воспроизводства плодородия почв сельскохозяйственных угодий Ростовской области как инструмент экономической безопасности региона // Экономика и предпринимательство. 2021. № 10 (135). С. 366–371. DOI: 10.34925/EIP.2021.135.10.069.
 6. Тычинская И.Л., Панарина В.И., Михалева Е.С. Применение органических удобрений в решении проблем экологизации и продовольственной безопасности страны // Вестник аграрной науки. 2021. № 2 (89). С. 64–74. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.2.64.
 7. Окунев Г.А., Кузнецов Н.А., Канатпаев С.С. Формирование ресурсосберегающей системы органического земледелия // Вестник Курганской ГСХА. 2021. № 2 (38). С. 69–75. DOI: 10.52463/22274227_2021_38_34.
 8. Ториков В.Е., Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А. Ресурсосбережение в сфере сельского хозяйства // Аграрный вестник Верхневолжья. 2021. № 1 (34). С. 24–32. DOI: 10.35523/2307-5872-2021-34-1-24-32.
 9. Каипов Я.З., Султангазин З.Р., Сафин Х.М., Акчурин Р.Л. Влияние биологизированных севооборотов на агрофизические свойства почвы, засоренность посевов и продуктивность пашни в условиях засушливой степи Южного Урала // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 10. С. 51–55. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_10_51.
 10. Иванов А.Л., Кулинцев В.В., Дриггер В.К., Белобров В.П. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 8–16. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401.
 11. Рябцева Н.А. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность ярового ячменя в условиях Ростовской области // Аграрная наука. 2022. № 5. С. 54–57. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-54-57.
 12. Бжеумыхов В.С., Алиев З.Ю. Особенности возделывания озимой пшеницы при прямом посеве // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2019. № 2 (24). С. 6–14.
 13. Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Хасанова Р.Ф., Суюндукова М.Б., Сафин Х.М. Влияние ресурсосберегающей технологии No-till на агрофизические и биологические свойства чернозема обыкновенного Башкирского Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 66–71. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_66.
 14. Дриггер В.К., Иванов А.Л., Белобров В.П., Кутюкова О.В. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1111–1120. DOI: 10.31857/S0032180X20090038.
 15. Бжеумыхов В.С., Шекихачева Л.З. Роль севооборотов при выращивании сельскохозяйственных культур по технологии No-till // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 1 (101). С. 34–45. DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-1-34-45.
 16. Бондаренко А.М., Несмиян А.Ю., Качанова Л.С., Кормильцев Ю.Г. Основы системной технологии восстановления почвенного плодородия с использованием незерновой части урожая и сидеральных культур // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 3 (47). С. 9–34.
 17. Томашова О.Л., Ильин А.В., Захарчук П.С., Сильченко К.Р., Томашова А.С. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от сочетания почвопокровных культур в полевом севообороте и No-till в предгорно-степном Крыму // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2021. № 28 (191). С. 32–41.
 18. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Бильдиева Е.А., Калашикова А.А. Оценка влияния новых органоминеральных препаратов на формирование урожая и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 7–12. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10014.
- ## REFERENCES
1. Evdokhina O.S. Monitoring of the state of agricultural lands and assessment of the use of technological techniques of the soil protection system by land users of the Omsk region. *Aktual'nye voprosy sovremennoi ekonomiki = Topical Issues of the Modern Economy*, 2020, no. 6, pp. 182–192. (In Russian). DOI: 10.34755/IROK.2020.20.63.050.
 2. Podkolzin O.A., Sokolova I.V., Slyusarev V.N., Osipov A.V., Shvets T.V., Perov A.Yu. Moni-

- toring and estimation of soils in the steppe agrolandscapes at the North-Western Caucasus. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*, 2019, no. 1, pp. 11–15. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10003.
3. Torikov V.E., Vaskin V.F., Dronov A.V., Vaskina T.I. The current state, trends and problems of grain production in the Russian Federation. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*, 2022, no. 1 (38), pp. 15–23. (In Russian). DOI: 10.35523/2307-5872-2022-38-1-15-23.
 4. Selezneva N.A., Tishkova A.G., Fedorova T.N., Aseeva T.A. The impact of the anthropogenic load on the change in agrobiological properties of the soil, the yield and quality of the spring wheat grain. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*, 2021, no. 3 (217), pp. 113–118. (In Russian). DOI: 10.37102/0869-7698_2021_217_03_18.
 5. Bondarenko A.M., Kachanova L.S., Chelbin S.M., Golovko A.N. The concept of development of the system of conservation and reproduction of soil fertility of agricultural lands in the Rostov region as an instrument of economic security of the region. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*, 2021, no. 10 (135), pp. 366–371. (In Russian). DOI: 10.34925/EIP.2021.135.10.069.
 6. Tychinskaya I.L., Panarina V.I., Mikhaleva E.S. The use of organic fertilizers in solving problems of ecologization and food security of the country. *Vestnik agrarnoi nauki = Bulletin of Agrarian Science*, 2021, no. 2 (89), pp. 64–74. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.2.64.
 7. Okunev G.A., Kuznetsov N.A., Kanatpaev S.S. Formation of resource-saving system of organic agriculture. *Vestnik Kurganskoi GSKhA = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, 2021, no. 2 (38), pp. 69–75. (In Russian). DOI: 10.52463/22274227_2021_38_34.
 8. Torikov V.E., Pogonyshchev V.A., Pogonyshcheva D.A. Resource conservation in the field of agriculture. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian journal of Upper Volga region*, 2021, no. 1 (34), pp. 24–32. (In Russian). DOI: 10.35523/2307-5872-2021-34-1-24-32.
 9. Kaipov Ya.Z., Sultangazin Z.R., Safin H.M., Akchurin R.L. Influence of biologized crop rotations on agrophysical soil properties, crop weediness and arable land productivity in the arid steppe of the Southern Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2021, vol. 35, no. 10, pp. 51–55. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2021_35_10_51.
 10. Ivanov A.L., Kulintsev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P. Feasibility of a direct sowing system on the Russian chernozems. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2021, vol. 35, no. 4, pp. 8–16. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10401.
 11. Ryabtseva N.A. Influence of the methods of the basic soil treatment on the yield of spring barley under the conditions of the Rostov region. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*, 2022, no. 5, pp. 54–57. (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2022-359-5-54-57.
 12. Bzheumykhov V.S., Aliyev Z.Yu. Features of winter wheat cultivation in direct sowing. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Koko-va = Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*, 2019, no. 2(24), pp. 6–14. (In Russian).
 13. Ilbulova G.R., Suyundukov Ya.T., Semenova I.N., Khasanova R.F., Suyundukova M.B., Safin H.M. Influence of resource-saving No-till technology on the agrophysical and biological properties of ordinary chernozem in the Bashkir Trans-Urals. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2022, vol. 36, no. 4, pp. 66–71. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_66.
 14. Dridiger V.K., Ivanov A.L., Belobrov V.P., Kutovaya O.V. Rehabilitation of soil properties by using direct seeding technology. *Pochvo-vedenie = Eurasian Soil Science*, 2020, no. 9, pp. 1111–1120. (In Russian). DOI: 10.31857/S0032180X20090038.
 15. Bzheumykhov V.S., Shekikhacheva L.Z. The role of crop rotations in cultivation of agricultural crops by No-till technology. *Nauchnaya zhizn' = Scientific Life*, 2020, vol. 15, no. 1 (101), pp. 34–45. (In Russian). DOI: 10.35679/1991-9476-2020-15-1-34-45.
 16. Bondarenko A.M., Nesmian A.Yu., Kachanova L.S., Kormiltsev Yu.G. Fundamentals of system technology for restoring soil fertility using the non-grain part of the crop and sid-

- eral crops. *Vestnik agrarnoi nauki Dona = Don Agrarian Science Bulletin*, 2019, no. 3 (47), pp. 29–34. (In Russian).
17. Tomashova O.L., Ilyin A.V., Zakharchuk P.S., Silchenko K.R., Tomashova A.S. Productivity of winter wheat depending on the combination of groundcover crops in the field crop rotation and No-till in the foothill-steppe Crimea. *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoi nauki Tavridy = Transactions of Taurida Agricultural Science*, 2021, no. 28 (191), pp. 32–41. (In Russian).
18. Eroshenko F.V., Storchak I.G., Bildieva E.A., Kalashnikova A.A. Evaluation of the effect of new organomineral preparations on yield formation and grain quality of winter wheat. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*, 2020, no. 2, pp. 7–12. (In Russian). DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Бильдиева Е.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 356241, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: bildieva@rambler.ru

Ерошенко Ф.В., доктор биологических наук, заведующий отделом

AUTHOR INFORMATION

✉ **Evgenia A. Bildieva**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 49, Nikonova St., Mikhailovsk, Stavropol Territory, 356241, Russia; e-mail: bildieva@rambler.ru

Fedor V. Eroshenko, Doctor of Science in Biology, Division Head

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.12.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 06.02.2023
Дата публикации / Published 20.03.2023

ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ НОВЫХ СОРТОВ НУТА ОТ СПОСОБА ПОСЕВА В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

✉ Маслова Г.А., Кондаков К.С., Башинская О.С.

*Российский научно-исследовательский
и проектно-технологический институт сорго и кукурузы
Саратов, Россия*

✉ e-mail: rossorgo@yandex.ru

Приведены результаты исследований в условиях Нижнего Поволжья по изучению влияния способа посева (ширина междурядий и предшественник) на урожайность сухой биомассы и семян трех сортов нута селекции Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы (Россорго): Бенефис, Сфера и Сокол. Выявлены различия по высоте растений и прикреплению нижнего боба: наиболее высоким из представленных оказался сорт Сокол – 69,00 и 40,13 см соответственно при междурядье 70 см и использовании в качестве предшественника ярового ячменя, далее следует сорт Бенефис – 55,30 и 29,54 см соответственно (междурядье 45 см, предшественник – яровой ячмень); затем Сфера – 55,27 и 30,80 см соответственно (междурядье 70 см, предшественник – яровая пшеница). По формированию бобов и семян на одном растении значительное преимущество показал сорт Бенефис – 55,80 бобов и 56,93 семян при междурядье 45 см, предшественнике яровая пшеница. У двух других сортов отмечены более низкие показатели: Сфера – 49,60 бобов и 46,03 семян при междурядье 45 см, предшественнике сорго зерновое; Сокол – 40,53 бобов и 38,70 семян при междурядье 60 см, предшественнике яровая пшеница. В результате анализа роста массы 1 тыс. семян, а также урожайности семян и содержания в них протеина установлена оптимальная схема посева изучаемых сортов нута: ширина междурядий 45 см, предшественник – яровая пшеница. Урожайность семян при такой схеме размещения составила: Бенефис – 4,31 т/га, Сфера – 3,89, Сокол – 3,07 т/га; содержание протеина достигало следующих значений: Бенефис – 21,15% на абс. сух. в-во, Сфера – 20,39%, Сокол – 19,32% на абс. сух. в-во.

Ключевые слова: нут, сорт, междурядье, предшественник, урожайность, сухая биомасса, протеин

YIELD DEPENDENCE OF NEW CHICKPEA VARIETIES ON THE METHOD OF SOWING IN THE LOWER VOLGA REGION

✉ Maslova G.A., Kondakov K.S., Bashinskaya O.S.

*Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize “Rossorgo”
Saratov, Russia*

✉ e-mail: rossorgo@yandex.ru

The results of research in the conditions of the Lower Volga region to study the effect of the sowing method (width of row spacing and the forecrop) on the yield of dry biomass and the seeds of chickpea varieties bred by the Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Maize (Rossorgo) are presented: Benefis, Sphere and Sokol. Differences in plant height and attachment of the bottom bean were found: the highest of the presented was the variety Sokol - 69.00 and 40.13 cm respectively with a row spacing of 70 cm and the use of spring barley as a forecrop, followed by the variety Benefis - 55.30 and 29.54 cm respectively (row spacing 45 cm, the forecrop - spring barley); and then Sphere - 55.27 and 30.80 cm respectively (row spacing of 70 cm, the forecrop - spring wheat). Benefis showed a significant advantage in the formation of beans and seeds per plant - 55.80 beans and 56.93 seeds at row spacing of 45 cm, the forecrop was spring wheat. The other two varieties have lower rates: Sphere - 49.60 beans and 46.03 seeds at row spacing of 45 cm, the forecrop is grain sorghum; Sokol - 40.53 beans and 38.70 seeds at row spacing of 60 cm, the forecrop is spring wheat. As a result of analysis of 1 ths seeds weight growth, as well as seed yield and protein content, the optimal seeding scheme of chickpea varieties under study was established: the width of the row spacing is 45 cm, the forecrop is spring wheat. Seed yields under this placement scheme amounted to: Benefis - 4.31 t/ha,

Sphere - 3.89 t/ha, Sokol - 3.07 t/ha; protein content reached the following values: Benefis - 21.15% a.d.m., Sphere - 20.39% a.d.m, Sokol - 19.32% a.d.m.

Keywords: chickpea, variety, row spacing, forecrop, yield, dry biomass, protein

Для цитирования: Маслова Г.А., Кондаков К.С., Башинская О.С. Зависимость урожайности новых сортов нута от способа посева в Нижнем Поволжье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 25–32. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-3>

For citation: Maslova G.A., Kondakov K.S., Bashinskaya O.S. Yield dependence of new chickpea varieties on the method of sowing in the Lower Volga region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 25–32. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Выбор сельхозтоваропроизводителей в пользу зернобобовых культур очевиден – в их семенах высоко содержание ценного по аминокислотному составу и степени усвояемости протеина, благодаря чему они являются незаменимыми элементами питания как человека, так и сельскохозяйственных животных (в виде сбалансированных концентрированных кормов)¹ [1–4].

Особое внимание в современном растениеводстве привлекает такая перспективная зернобобовая культура, как нут. Она имеет огромное значение для системы севооборота в засушливых условиях Нижнего Поволжья² [3–5], так как лучше других зерновых бобовых переносит засуху и высокие температуры [6, 7].

При расширении площадей под нутом в условиях Нижнего Поволжья необходимо учитывать не только биологические особенности и приспособленность к конкретным почвенно-климатическим условиям, но и технологию возделывания новых сортов [3, 8, 9].

Для сравнительной характеристики в статье представлены новые сорта нута, различающиеся по массе 1 тыс. семян (так как крупносемянность – главный биологический признак, который в настоящее время определяет стоимость семян [8]) – Бенефис, Сфера, Сокол. Данные сорта районированы в Нижневолжском регионе. В годы прове-

дения опытов (2017–2019) количество осадков и температурный режим значительно различались. При изучении научных работ установлено, что относительно жаркие годы с засушливыми погодными условиями способствуют сокращению продолжительности вегетационного периода у растений нута, недостаток влаги и повышенные температуры воздуха приводят к уменьшению числа бобов и семян на растении, а также их массы [10, 11]. Выявлено, что в годы со средним и высоким увлажнением наибольшую урожайность нута обеспечивали рядовые посевы с высокими нормами высева. В засушливые периоды лучшие результаты получены при широкорядном или ленточном способе посева с меньшей нормой. Так, рекомендуемые нормы высева колеблются при сплошном рядовом способе посева от 0,5 до 1,3 млн, а при широкорядном – от 0,2 до 0,7 млн всхожих семян/га (см. сноску 1) [4, 12]. Норма высева нута, несомненно, должна рассматриваться в комплексе с другими агробиологическими факторами. На основе материалов научных учреждений и госсортосети сделан вывод, что изменение норм высева существенное влияние на увеличение урожайности оказывает только во влажные годы. В наших опытах была выбрана оптимальная густота с нормой высева 350 тыс. всхожих семян/га. Следующим элементом технологии являлся способ посева [9]. Ширина междурядий составила:

¹Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х., Гатаулина Г.Г., Горбачев И.В., Архангельский Н.С., Бугаев П.Д., Корниенко А.В. Растениеводство. М.: Колос-С, 2007. 612 с.

²Шьюрова Н.А. Агробиологические особенности и продуктивность нута в зависимости от приемов выращивания // Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: сб. науч. работ. Саратов, 2002. С. 35–40.

15, 30, 45, 60, 70 см. Установлено, что в условиях одинакового междурядного расстояния и увеличения промежутков между растениями снижается высота, растет число ветвей и бобов на одно растение, а также масса 1 тыс. семян. Следует отметить и необходимость учета пространственного расположения растений при выращивании нута (см. сноску 2) [5] – в опыте по изучению урожайности новых сортов нута наблюдения проводили в четырех севооборотах, в которых устанавливали степень влияния предшественников: сорго зернового, кукурузы, ярового ячменя и яровой пшеницы [9].

Цель исследования – определить воздействие способа посева на урожайность сухой биомассы и семян сортов нута селекции Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы (РосНИИСК) в условиях Нижнего Поволжья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования были направлены на изучение сортов нута селекции РосНИИСК, различающихся по массе 1 тыс. семян. Опыт заложен по типу 3-факторного эксперимента на основе следующей схемы:

1. Фактор А – сорт: Бенефис, Сфера, Сокол.
2. Фактор В – ширина междурядий: 15, 30, 45, 60, 70 см.
3. Фактор С – предшественник: сорго зерновое, кукуруза, яровой ячмень, яровая пшеница.

Общая площадь опыта составила 0,70 га, площадь учетной делянки – 25 м², количество вариантов – 60, повторность 4-кратная.

Закладку полевых опытов, фенологические наблюдения, учет урожая, динамики накопления биомассы и площади листовой поверхности по фазам развития осуществляли согласно общепринятым методическим рекомендациям³.

Экспериментальные исследования проведены на опытном поле РосНИИСК в

2017–2019 гг. Почвы на данном участке представлены южными маловыщелочными черноземами со среднесуглинистым механическим составом. В пахотном слое содержание гумуса достигает 3,3%. Агротехника возделывания нута зональная, разработана в РосНИИСК. Подготовка почвы перед посевом включала вспашку, ранневесеннее боронование (БЗСС-1,0) в два следа поперек направления пахоты, две предпосевные культивации (КПС-4 + МТЗ-82) – первая на глубину 8–10 см, вторая на глубину заделки семян (6–7 см). Посев проводили сеялками СЗ-3,6 (междурядья 15, 30, 45 и 60 см) и СОН-4,2 (междурядье 70 см). Норма высева – 350 тыс. семян/га. Одновременно с посевом применяли прикатывание почвы кольчато-шпоровыми катками, а на 3-й день после посева – дождевальное боронование. Учет урожая осуществляли методом пробных снопов. Погодные условия в годы проведения исследований соответствовали средним многолетним значениям: гидротермический коэффициент в 2017 г. составил 1,20, 2018 г. – 0,68, 2019 г. – 0,67.

В проведенные нами исследования по изучению новых сортов нута, влияния на его урожайность способов посева и выбора предшественников входили фенологические наблюдения, анализ структуры урожая, подсчет урожайности сухой биомассы и семян, биохимические исследования (в частности, определение содержания протеина в семенах)⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За время проведения эксперимента вегетационный период растений нута менялся. В 2017 г. по сортам он имел следующие значения: Бенефис – 87 дней, Сфера и Сокол – по 88 дней; в 2018 г. (в связи с ограничениями по погодным условиям посев провели на 13 дней позже): Бенефис – 82 дня, Сфера – 83 дня, Сокол – 81 день (по сравнению с 2017 г. сократился на 2–7 дней);

³Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 2011. 290 с.

⁴ГОСТ 10846–91. Метод определения белка. Зерно и продукты его переработки. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 11 с.

в 2019 г.: Бенефис – 76 дней, Сфера – 77 дней, Сокол – 79 дней (посев провели в установленные в 2017 г. сроки, но вегетационный период уменьшился на 9–12 дней).

Детальный анализ структуры урожая позволил выявить заметные особенности влияния способа посева и выбора предшественника.

По высоте растений нута наблюдались значительные различия. По сорту Бенефис показатели находились в пределах 44,37–55,30 см, где нижние значения зафиксированы при использовании в качестве предшественника сорго зернового, наиболее высокие – при применении ярового ячменя. Самые высокие растения отмечены при посеве с междурядьями 45 и 60 см, низкие – при междурядьях 15 и 70 см (градиация наблюдалась в пределах каждого предшественника). Аналогия с предыдущим сортом прослеживается и в характеристике сорта Сокол: нижние значения зафиксированы при посеве по сорго зерновому (47,47 см), наиболее высокие – по яровому ячменю (69,00 см). В результате учета способа посева установлено, что градиация от самого низкого к самому высокому растению наблюдается последовательно по схеме посева от 15 к 70 см (данная тенденция прослеживалась по каждому предшественнику). По сорту Сфера отмечен предел от 42,58 (по сорго зерновому) до 55,27 см (по яровой пшенице). Для указанного сорта наиболее низкие значения по предшественникам зафиксированы при посеве с междурядьем 30 см, высокие – с междурядьем 70 см. В целом по опыту на варианте, размещенном с междурядьем 70 см по предшественнику яровой ячмень, у сорта Сокол отмечены самые высокие растения нута.

Самое высокое прикрепление одного боба зафиксировано в случае посева с междурядьем 70 см по предшественнику яровой ячмень у сорта Сокол – 40,13 см. У двух других сортов показатели были следующими: Бенефис – не более 30,90 см (междурядье 15 см, предшественник – яровой ячмень); Сфера – не более 30,80 см (междурядье 70 см, предшественник – яровая пшеница). Высота самого низкого прикрепления достигала:

у сорта Бенефис – 24,53 см (междурядье 70 см, предшественник – яровая пшеница); Сфера – 24,47 см (междурядье 15 см, предшественник – сорго зерновое); Сокол – 32,13 см (междурядье 15 см, предшественник – яровой ячмень).

Наибольшее количество бобов на одном растении сформировалось у сорта Бенефис, высеянного с междурядьем 45 см по предшественникам сорго зерновое и яровая пшеница – 57,40 и 55,80 шт. соответственно. Число семян, полученных с одного растения, на данных вариантах составило 53,93 и 56,93 шт. соответственно. У сорта Сфера наибольшие значения по количеству бобов с одного растения зафиксированы на вариантах, высеянных с шириной междурядий 45 см: 49,60–51,58 шт. Озерненность данного сорта была довольно низкой и составила 0,93–0,87 (46,03–44,72 семян соответственно). Однако был отмечен вариант при посеве с междурядьем 70 см по предшественнику сорго зерновое, озерненность которого доходила до 1,46 (33,60 бобов и 49,13 семян с одного растения). По количеству бобов сорт Сокол выделился на вариантах с междурядьями 45 и 60 см, использованием в качестве предшественника яровой пшеницы (41,94 и 40,53 бобов соответственно) и озерненностью 0,86 и 0,95 (35,87 и 38,70 семян с одного растения). Отмечены варианты с более низким количеством бобов, но повышенной озерненностью: при способе посева с междурядьями 15, 30 и 60 см (1,20; 1,09; 1,02 соответственно).

По массе 1 тыс. семян сорта разделились на группы согласно заявленным характеристикам. У сорта Бенефис получены более крупные семена, чем у сортов Сфера и Сокол: соответственно 284,70–354,60 г против 288,60–325,40 и 243,50–267,90 г в среднем за 3 года. Увеличение ширины междурядий до 45 см приводило к росту массы 1 тыс. семян, при стандартном ширококядном способе посева данный показатель снижался. Анализ влияния предшественника на изучаемые сорта нута показал рост массы 1 тыс. семян по такой пропашной культуре, как кукуруза.

В целом по опыту высокая урожайность

сухой биомассы отмечена при возделывании нута сорта Сфера с междурядьем 45 см по предшественнику яровой ячмень – 6,45 т/га (см. табл. 1). По сортам урожайность сухой биомассы различалась значительно и зависела как от предшественника, так и от ширины междурядий. Так, варианты выше средних значений отмечены при расположении по предшественникам сплошного посева (яровой ячмень и яровая пшеница) и с междурядьями 30, 45 и 60 см.

По критерию Дункана существенные различия выявлены только по фактору А: между сортами Бенефис и Сфера; Сокол и Сфера. Согласно данным дисперсионного анализа, между сортами Бенефис и Сокол ощутимых различий нет.

В сравнении со средними значениями по сорту в опытах с междурядьем 15 см уро-

жайность семян у всех изучаемых сортов нута была снижена вследствие ухудшения элементов структуры урожая и уменьшения сухой биомассы: Бенефис – на 0,86–1,65 т/га (первый показатель рассчитан по предшественнику яровой ячмень, второй – по кукурузе); Сфера – на 0,34–1,14 т/га (аналогично с предыдущим сортом); Сокол – на 0,20–1,02 т/га (см. табл. 2). Подобное снижение урожайности семян отмечали и при посеве с междурядьем 30 см, а у сорта Бенефис даже при междурядье 70 см. В остальных исследуемых вариантах наблюдалось увеличение урожайности по сравнению со средними показателями сорта. Самая высокая урожайность зафиксирована при междурядье 45 см и предшественнике яровая пшеница у всех изучаемых сортов: Сокол – 3,07 т/га; Сфера – 3,89 т/га; Бенефис – 4,31 т/га в среднем

Табл. 1. Урожайность сухой биомассы сортов нута в зависимости от величины междурядий и выбора предшественника (2017–2019 гг.), т/га

Table 1. Dry biomass yield of chickpea varieties depending on the row spacing and the forecrop choice (2017-2019), t/ha

Предшественник (фактор С)	Междурядье, см (фактор В)				
	15	30	45	60	70
<i>Бенефис (фактор А)</i>					
Сорго зерновое	2,92	4,68	4,84	4,87	3,09
Кукуруза	2,63	5,13	5,28	4,43	3,36
Яровой ячмень	4,70	4,85	5,75	4,79	3,73
Яровая пшеница	3,74	5,35	5,46	4,96	3,66
<i>Сфера (фактор А)</i>					
Сорго зерновое	3,34	4,99	5,62	3,99	4,52
Кукуруза	3,12	5,54	5,72	4,58	4,25
Яровой ячмень	5,14	5,26	6,45	4,88	5,47
Яровая пшеница	4,33	5,89	5,99	5,18	4,70
<i>Сокол (фактор А)</i>					
Сорго зерновое	2,84	3,93	4,55	3,56	3,61
Кукуруза	2,46	4,47	4,61	4,32	3,98
Яровой ячмень	4,62	4,32	5,22	4,55	4,66
Яровая пшеница	3,78	4,82	4,75	4,04	3,68
	F _{факт}	HCP _{0,05}			
Фактор А	5,055*	0,512			
Фактор В	1,891	–			
Взаим. А*В	0,198	–			
Фактор С	1,377	–			
Взаим. А*С	0,079	–			
Взаим. В*С	3,314*	1,322			
Взаим. А*В*С	0,185	–			

Примечание. Множественные сравнения частных средних по критерию Дункана: фактор А – 4.41a; 4.95b; 4.14a.

Табл. 2. Урожайность семян сортов нута в зависимости от величины междурядий и выбора предшественника (2017–2019 гг.), т/га**Table 2.** Seed yield of chickpea varieties depending on the row spacing and the forecrop choice (2017–2019), t/ha

Предшественник (фактор С)	Междурядье, см (фактор В)				
	15	30	45	60	70
<i>Бенефис (фактор А)</i>					
Сорго зерновое	1,20	1,84	4,19	4,03	2,30
Кукуруза	1,12	2,14	3,95	4,01	2,24
Яровой ячмень	1,91	2,16	3,69	3,52	2,17
Яровая пшеница	1,61	2,45	4,31	3,91	2,72
<i>Сфера (фактор А)</i>					
Сорго зерновое	1,50	1,72	3,71	2,18	2,43
Кукуруза	1,46	1,98	3,60	2,89	2,47
Яровой ячмень	2,26	2,00	3,44	3,23	2,85
Яровая пшеница	1,96	2,31	3,89	3,09	2,98
<i>Сокол (фактор А)</i>					
Сорго зерновое	1,09	1,13	2,83	1,87	1,91
Кукуруза	0,99	1,29	2,77	2,38	2,27
Яровой ячмень	1,81	1,38	2,38	2,55	2,52
Яровая пшеница	1,43	1,61	3,07	2,46	2,38
	F _{факт}	HCP _{0,05}			
Фактор А	10,522*	0,346			
Фактор В	3,828*	0,447			
Взаим. А*В	0,290	—			
Фактор С	0,570	—			
Взаим. А*С	0,114	—			
Взаим. В*С	7,970*	0,893			
Взаим. А*В*С	0,577	—			

Примечание. Множественные сравнения частных средних по критерию Дункана: фактор А – 2.77b; 2.60b; 2.01a; фактор В – 2.28a; 2.16a; 2.31a; 2.61ab; 2.93b.

за 3 года.

По критерию Дункана существенные различия отмечены по фактору А: между сортами Бенефис и Сокол, а также Сфера и Сокол. Согласно данным дисперсионного анализа, между сортами Бенефис и Сфера ощутимые различия не наблюдались. По фактору В: по междурядьям 15 и 70; 30 и 70; 45 и 70 см.

Средние за 3 года исследований показатели содержания протеина в семенах описанных сортов нута представлены в диапазоне от 16,16 (сорт Сокол, предшественник – сорго зерновое, ширина междурядий 45 см) до 22,70% на абс. сух. в-во (сорт Сфера, предшественник – яровая пшеница, ширина междурядий 15 см). При расчете среднего значения по сорту с учетом почвенно-климатических условий Нижнего Поволжья установлено,

что наивысшей белковостью обладает сорт Сфера (20,27% на абс. сух. в-во), далее следуют Бенефис (19,07% на абс. сух. в-во) и Сокол (18,72% на абс. сух. в-во).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе эксперимента выявлены различия по высоте растений нута – наиболее высоким из представленных сортов оказался сорт Сокол, далее идут Бенефис и Сфера. Наблюдалась значительная разница в высоте при учете способа посева: самые высокие растения отмечены при междурядьях 45 и 60 см, низкие – 15 и 30 см. Градация по предшественникам следующая: сорго зерновое, кукуруза, яровой ячмень, яровая пшеница. Различия также зафиксированы в высоте прикрепления нижнего боба: снижение данного показателя про-

исходило в зависимости от способа посева с междурядьями 70, 60, 45, 30 и 15 см. Выбор предшественника тоже повлиял на высоту прикрепления, при этом особо следует отметить культуры сплошного посева. Среди рассматриваемых сортов наибольшее значение исследуемого показателя отмечено у сорта Сокол, который оказался и самым высоким. Полученные данные подтверждают, что увеличение ширины междурядий до 45 см приводит к росту массы 1 тыс. семян, повышению урожайности семян и увеличению содержания в них протеина. Установлено, что для изучаемых сортов в условиях Нижнего Поволжья оптимальным является посев с шириной междурядий 45 см и использованием в качестве предшественника яровой пшеницы. Урожайность изучаемых сортов и содержание в их семенах протеина в условиях Нижнего Поволжья при такой схеме размещения составили: Бенефис – 4,31 т/га, 21,15% на абс. сух. в-во; Сфера – 3,89 т/га, 20,39% на абс. сух. в-во; Сокол – 3,07 т/га, 19,32% на абс. сух. в-во.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водяников В.И., Шкаленко В.В., Мартынов А.А. Нут и его использование в кормопроизводстве и мясоперерабатывающей промышленности // Свиноводство. 2020. № 6. С. 39–42. DOI: 10.37925/0039-713x-2020-6-39-42.
2. Казанцева И.Л., Бутова С.Н. Перспективные направления развития переработки зернобобовой культуры нут в Саратовской области // Аграрная Россия. 2016. № 11. С. 30–34. DOI: 10.30906/1999-5636-2016-11-30-34.
3. Павленко В.Н., Павленко В.И. Совершенствование технологии возделывания сои и нута в Нижнем Поволжье // Научно-агрономический журнал. 2016. № 2 (99). С. 46–47.
4. Фартуков С.В., Таспаев Н.С., Германцева Н.И., Шьюрова Н.А., Нарушев В.Б. Влияние нормы высева на продуктивность нута в засушливом Степном Поволжье // Аграрный научный журнал. 2018. № 2. С. 42–49.
5. Шурыгин А.В. Технология возделывания нута // Фермер. Поволжье. 2017. № 6 (60). С. 48–49.
6. Вошедский Н.Н. Особенности влияния элементов технологии при возделывании нута на засоренность посевов и урожайность

зерна // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (71). С. 80–84.

7. Петрова Г.В., Безуглов В.В., Ярцев Г.Ф., Байкасенов Р.К. Урожайность и качество зерна нута в зависимости от технологий выращивания на южных черноземах Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (69). С. 48–50.
8. Балашов В.В., Балашов А.В., Малахова А.А., Балашов В.А. Особенности роста и развития сортов нута волгоградской селекции на каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 36–45.
9. Маслова Г.А., Астахов А.Н., Жужукин В.И., Багдалова А.З., Сафронов А.А. Влияние способов посева и предшественников на урожайность новых сортов нута // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 31–35. DOI: 10.28983/asj.y2021illpp31-35.
10. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Дмитриев А.М., Хуснутдинов В.В. Результаты изучения сортов нута (*Cicer arietinum* L.) в условиях Республики Башкортостан // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 82–87.
11. Пташник О.П. Семенная продуктивность сортов нута в условиях Степного Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 85. С. 208–213.
12. Мирахмедов Ф.Ш., Кодиров О.А., Рахимов А.Д., Алижанова Г., Муминжонов С. Особенности технологии возделывания нута // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 11-4. С. 15–17.

REFERENCES

1. Vodyannikov V.I., Shkalenko V.V., Martynov A.A. Chickpeas and their use in the feed and meat industry. *Svinovodstvo = Pig breeding*, 2020, no. 6, pp. 39–42. (In Russian). DOI: 10.37925/0039-713x-2020-6-39-42.
2. Kazantseva I.L., Butova S.N. Perspective directions of development of processing legumes chickpeas in the Saratov oblast. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2016, no. 11, pp. 30–34. (In Russian). DOI: 10.30906/1999-

- 5636-2016-11-30-34.
3. Pavlenko V.N., Pavlenko V.I. Improving the technology of soybean and chickpea cultivation in the Lower Volga region. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal = Scientific Agronomy Journal*, 2016, no. 2 (99), pp. 46–47. (In Russian).
 4. Fartukov S.V., Taspayev N.S., Germantseva N.I., Sh'yurova N.A., Narushev V.B. Influence of chickpea seeding rate on productivity in dry steppe Volga region. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2018, no. 2, pp. 42–49. (In Russian).
 5. Shurygin A.V. Chickpea cultivation technology. *Fermer. Povolzh'e = Farmer. Volga region*, 2017, no. 6 (60), pp. 48–49. (In Russian).
 6. Voshedskii N.N. Peculiarities of cultivation technology influence on chickpea crops weed infestation and grain yields. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2018, no. 3 (71), pp. 80–84. (In Russian).
 7. Petrova G.V., Bezuglov V.V., Yartsev G.F., Baikasenov R.K. Crop productivity and quality of chickpea grain depending on growth technologies on the southern chernozems of Orenburg Preduralye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2018, no. 1 (69), pp. 48–50. (In Russian).
 8. Balashov V.V., Balashov A.V., Malakhova A.A., Balashov V.A. Features of growth and development of chickpea varieties of Volgograd breeding on chestnut soils of the Volgograd region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyshee professional'noe obrazovanie = Izvestia of the Lower-Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*, 2021, no. 1 (61), pp. 36–45. (In Russian).
 9. Maslova G.A., Astashov A.N., Zhuzhukin V.I., Bagdalova A.Z., Safronov A.A. Influence of the sowing method and the predecessor on the yield of new chickpea varieties. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2021, no. 11, pp. 31–35. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp31-35.
 10. Davletov F.A., Gainullina K.P., Dmitriev A.M., Khusnutdinov V.V. The results of studies on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in conditions of the Republic of Bashkortostan. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2020, no. 3 (83), pp. 82–87. (In Russian).
 11. Ptashnik O.P. Seed productivity of chickpea varieties in the conditions of the Steppe Crimea. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2020, no. 85, pp. 208–213. (In Russian).
 12. Mirakhmedov F.Sh., Kodirov O.A., Rakhirov A.D., Alizhanova G., Muminzhonov S. Features of chickpea cultivation technology. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii = Modern trends in the development of science and technology*, 2016, no. 11-4, pp. 15–17. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Маслова Г.А.**, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4; e-mail: rossorgo@yandex.ru

Кондаков К.С., кандидат экономических наук

Башинская О.С., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Galina A. Maslova**, Junior Researcher; **address:** 4, 1st Institutskiy proezd, Saratov, 410050, Russia; e-mail: rossorgo@yandex.ru

Konstantin S. Kondakov, Candidate of Science in Economics

Oksana S. Bashinskaya, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 22.06.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 08.08.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ВИКИ ЯРОВОЙ (ПОСЕВНОЙ) В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Гончарова А.В., (✉) Капко Т.Н.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия
(✉) e-mail: tatjanakapko@mail.ru

Представлены результаты оценки урожайности и адаптивных свойств восьми сортов и линий вики яровой (посевной) (*Vicia sativa* L.). В исследование были включены Камалинская 611 (стандарт), Новосибирская, Байкальская × Льговская 34, Байкальская × Г-252, Э-1280, 4604/1-2, ГК-964, Камалинская 611 × Новосибирская. Дана оценка продуктивности растений вики в питомнике предварительного сортоиспытания и выявлены наиболее урожайные, пластичные, стабильные и адаптированные образцы. Исследование проведено в 2017–2019 гг. в условиях лесостепи Приобья (Новосибирская область). Наиболее благоприятным для формирования урожайности зеленой массы был 2017 г., для зерновой продуктивности – 2019 г. Варьирование урожайности зеленой массы составило от 25,20 (Новосибирская в 2018 г.) до 40,70 т/га (Камалинская 611 × Новосибирская в 2017 г.), семян – от 1,50 (Камалинская 611 в 2017 г.) до 3,16 т/га (Камалинская 611 × Новосибирская в 2018 г.). Наименьшей вариабельностью и наибольшим гомеостазом в формировании урожайности зерна выделились образцы Байкальская × Г-252 и Камалинская 611 × Новосибирская, по урожайности зеленой массы – линии Э-1280 и 4604/1-2. По селекционной ценности выделены Байкальская × Г-252 (по урожайности зерна); Байкальская × Льговская 34 (по биомассе) и Камалинская 611 × Новосибирская (по урожайности зерна и биомассе). К числу наиболее отзывчивых на улучшение условий и стабильных можно отнести по зерновой продуктивности Байкальская × Льговская 34 и Камалинская 611, по урожайности биомассы – Камалинская 611 × Новосибирская.

Ключевые слова: вика яровая (посевная), урожайность, пластичность, стабильность, гомеостатичность, адаптивность

ECOLOGICAL PLASTICITY AND STABILITY OF SPRING VETCH (TARE) UNDER CONDITIONS OF THE WEST SIBERIAN REGION

Goncharova A.V., (✉) Kapko T.N.

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia
(✉) e-mail: tatjanakapko@mail.ru

The results of evaluating the yield and adaptive properties of the eight varieties and lines of spring vetch (tare *Vicia sativa* L.) are presented. Kamalinskaya 611 (standard), Novosibirskaya, Baikalskaya × Lgovskaya 34, Baikalskaya × G-252, E-1280, 4604/1-2, GC-964, and Kamalinskaya 611 × Novosibirskaya varieties were included in the study. The productivity of vetch plants in the nursery of preliminary varietal trials is evaluated and the most productive, plastic, stable and adapted samples are identified. The study was conducted in 2017-2019 in the forest-steppe conditions of the Priob'ye region (Novosibirsk region). The most favorable for the formation of green matter yields was 2017, for grain productiv-

ity - 2019. The variation in green matter yields ranged from 25.20 (Novosibirskaya in 2018) to 40.70 t/ha (Kamalinskaya 611 × Novosibirskaya in 2017), and seeds from 1.50 (Kamalinskaya 611 in 2017) to 3.16 t/ha (Kamalinskaya 611 × Novosibirskaya in 2018). Baikalskaya × G-252 and Kamalinskaya 611 × Novosibirskaya samples stood out with the lowest variability and the highest homeostasis in the formation of grain yield, while the lines E-1280 and 4604/1-2 stood out in terms of green matter yield. Baikalskaya × G-252 (by grain yield); Baikalskaya × Lgovskaya 34 (by biomass) and Kamalinskaya 611 × Novosibirskaya (by grain yield and biomass) were selected for breeding value. Among the most responsive to improving conditions and stable are Baikalskaya × Lgovskaya 34 and Kamalinskaya 611 in terms of grain productivity and biomass yield - Kamalinskaya 611 × Novosibirskaya.

Keywords: spring vetch (tare *Vicia sativa* L.), yield, plasticity, stability, homeostasis, adaptability

Для цитирования: Гончарова А.В., Капко Т.Н. Экологическая пластичность и стабильность вики яровой (посевной) в условиях Западно-Сибирского региона // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 33–42. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-4>

For citation: Goncharova A.V., Kapko T.N. Ecological plasticity and stability of spring vetch (tare) under conditions of the West Siberian region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 33–42. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

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

Acknowledgements

This work was supported by the IC&G SB RAS budget project № FWN-2022-0018.

ВВЕДЕНИЕ

При организации научно обоснованного кормления сельскохозяйственных животных очень важно использование сбалансированных кормов [1]. В России основными источниками кормов являются естественные угодья и полевое кормопроизводство¹. Благоприятные условия для всех компонентов создаются в смешанных посевах, где важную роль в улучшении качества и усвояемости кормов играют бобовые культуры [2, 3]. Среди многообразия бобовых культур можно выделить вику яровую (посевную) (*Vicia sativa* L.), которая отличается более высокими урожайностью и содержанием белка. Кроме того, она менее требовательна к условиям, чем кормовые бобы и горох посевной [4, 5]. Это универсальная культура,

имеющая высокие кормовые достоинства и поедаемость, богатая белком, макро- и микроэлементами, которая может быть использована для создания зеленого конвейера, заготовки высокопитательных грубых и сочных кормов на зиму и для введения в состав комбикормов² [5].

При соблюдении оптимальной технологии возделывания адаптированные к местным условиям высокопродуктивные сорта способны давать высокий урожай. Продуктивность зеленой биомассы может составить в монокультуре до 20–25 т/га, в виде вико-злаковых смесей – до 40–46 т/га и более. Выход сена достигает 3,5–4,0 т/га в чистом виде и до 6,5–8,5 т/га в смеси с овсом. Кроме того, можно получить до 2,0–2,5 т/га сбалансированного по белковому составу зернофуража^{3–5}.

¹Коюшева Е.С., Степанова Я.Ю., Суворов Г.А. Анализ производства основных видов кормов для сельскохозяйственных животных в Российской Федерации // Управление рисками в АПК. 2019. № 1. С. 54–62. URL: <http://www.agrorisk.ru/20190105>.

²Тюрин Ю.С., Золотарев В.Н., Косолапов В.М. Основные направления селекции и новые сорта вики яровой // Кормопроизводство. 2013. № 2. С. 26–27.

³Васякин Н.И. Зерновые культуры в Западной Сибири: монография. Новосибирск: АНИИЗиС, 2002. 184 с.

⁴Глухов В.М. Однолетние кормовые культуры. Новосибирск: Западно-Сибирское книжное издательство, 1967. 96 с.

⁵Гончаров П.Л., Гончарова А.В., Васякин Н.И., Глинчиков И.М., Кипреев Ю.Н., Хан Ч. Вика яровая. Новосибирск: Новосибирское книж. изд-во, 1989. 36 с.

Всесторонняя оценка селекционного материала – важнейшая часть работы по созданию сорта в условиях изменения климата. Необходимо, чтобы сорт обладал стабильной урожайностью зеленой массы, сена, семян в широком диапазоне экологических условий возделывания [6]. Специфичность условий каждого региона предполагает создание сортов, максимально адаптированных к зоне возделывания. Создание сортов, сочетающих высокую продуктивность с устойчивостью к комплексу факторов среды, является важным направлением селекции, особенно в регионах с изменчивым климатом. В связи с этим особую роль играет оценка параметров их урожайного и адаптивного потенциала [7].

Цель исследования – дать оценку продуктивности растений вики яровой (посевной) в питомнике предварительного сортоиспытания и выявить наиболее урожайные, пластичные, стабильные и адаптированные образцы в условиях лесостепи Приобья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в Новосибирской области на опытном поле СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Объектом исследования служили восемь сортов и линий вики, проходивших предварительное сортоиспытание в 2017–2019 гг. Стандартом выступил сорт Камалинская 611.

Экспериментальный участок расположен в лесостепной зоне Западной Сибири. Почвенный покров поля представлен черноземом выщелоченным среднесуглинистым малогумусным среднесуглинистым, реакция среды в пахотном слое слабокислая (рН 6,7), в карбонатных горизонтах – щелочная (рН 7,9). Содержание гумуса – 4,2%, валового фосфо-

ра – 0,30, общего азота – 0,34%, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 29 и 13 мг/100 г почвы. Обработка почвы общепринятая для лесостепной зоны.

Посев вики в смеси с овсом сорта Ровесник в качестве опорной культуры осуществляли в оптимальные сроки с учетом агрометеорологических условий по черному пару. Посев проводили сеялкой ССФК-7 рядовым способом с нормой высева 120 кг вики/га и 40 кг овса/га. Закладку опытов осуществляли на делянках с учетной площадью 25 м² в четырехкратной повторности по методике государственного сортоиспытания⁶. Учеты продуктивности зеленой массы проводили с площадок размером 10 м². Уборку биомассы осуществляли в фазу массового цветения вики вручную при помощи серпа. Уборку на зерно проводили в фазу полной спелости вики комбайном. При оценке продуктивности зеленой массы и зерна учитывали только урожайность вики посевной, при этом овес отделили и не учитывали в расчетах.

Показатели адаптивных свойств изучаемых образцов вики рассчитывали для признаков урожайность зерна и урожайность зеленой массы. Полученные результаты обработаны статистически с использованием пакета Microsoft Office Excel. Критический уровень значимости 5%. Коэффициент вариации рассчитывали по Б.А. Доспехову⁷. Индекс условий среды определяли по методике Л.А. Животкова с соавт.⁸. Показатели экологической стабильности и пластичности рассчитывали по методике S.A. Eberhart и W.A. Russell⁹ (1966 г.) в изложении В.А. Зыкина с соавт.¹⁰ Селекционную ценность и гомеостатичность определяли по методике В.В. Хангильдина¹¹. Стрессоустойчивость и генетическую гибкость сортов рассчитыва-

⁶Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Общая часть. М, 2019. Вып. 1. 329 с.

⁷Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 416 с.

⁸Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–6.

⁹Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. N 1. P. 36–40.

¹⁰Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Корнева С.П. Методики расчета экологической пластичности сельскохозяйственных растений по дисциплине «Экологическая генетика». Омск: ОмГАУ, 2008. 36 с.

¹¹Хангильдин В.В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. Одесса, 1986. № 2 (60). С. 36–41.

ли по методике A.A. Rossielle и J. Hamblin¹² (1981 г.) в изложении А.А. Гончаренко¹³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рост и развитие растений связаны с условиями произрастания. Наиболее высокую урожайность семян и зеленой массы вики дает в достаточно увлажненных и умеренных по температурному режиму районах северной лесостепи, подтайги и предгорий (см. сноску 3). Лесостепная зона Новосибирской области характеризуется неравномерным распределением тепла и осадков по годам и в течение сезона. При сравнительно неплохих условиях влаго- и теплообеспеченности в отдельные годы количества осадков, выпадающих за период вегетации, недостаточно, и растения подвергаются воздействию засухи, особенно в июне¹⁴. Одна из целей селекции вики – создание системы сортов с высоким адаптивным потенциалом для перспективных регионов возделывания (см. сноску 2).

В годы проведения эксперимента (2017–2019) метеоусловия были в целом благоприятными для роста и развития основной и опорной культур. При этом в 2018 г. увлажнение оказалось недостаточным (ГТК = 0,98), в 2017 г. – оптимальным (ГТК = 1,35), в 2019 г. – избыточным (ГТК = 1,43). Однако на разных стадиях онтогенеза потребность растения в тепле и влаге неодинакова, поэтому выпадение осадков при достаточном количестве тепла на более поздней стадии развития может скорректировать их недостаток в начале вегетации и наоборот. При экстремальных проявлениях факторов среды обеспечивается возможность оценки генотипов на выносливость к неблагоприятным природным явлениям, что особенно важно при селекции на адаптивность¹⁵.

Яровая вика очень требовательна к влаге. Критический период – это время цвете-

ния. Недостаток увлажнения в этот период замедляет прирост биомассы и снижает семенную продуктивность. Избыток осадков также сказывается негативно на урожайности семян и их посевных качествах.

Кроме того, вика образует значительный объем биомассы, что может привести к полеганию опорной культуры и затруднить механизированную уборку (см. сноску 14) [4].

Формирование урожайности – достаточно сложный процесс, отражающий реализацию генотипа сорта под действием условий среды. Известно, что влияние генотипа, среды и их взаимодействие существенно в формировании агрономически значимых признаков вики, при этом основным источником варьирования урожайности являются условия окружающей среды [8].

В результате 3-летнего изучения восьми сортов и гибридов вики посевной по показателям урожайности зеленой массы и зерна установлено, что все образцы по-разному реализуют свой потенциал продуктивности под действием условий среды. Варьирование урожайности зеленой массы составило от 25,20 (Новосибирская в 2018 г.) до 40,70 т/га (Камалинская 611 × Новосибирская в 2017 г.), семян – от 1,50 (Камалинская 611 в 2017 г.) до 3,16 т/га (Камалинская 611 × Новосибирская в 2018 г.). В среднем за годы исследования урожайность семян составила 2,48 т/га. При этом четыре образца (Байкальская × Г-252, 4604/1-2, ГК-964 и Камалинская 611 × Новосибирская) продемонстрировали достоверную прибавку урожайности по отношению к стандарту, остальные три – тенденцию к увеличению. Средняя урожайность зеленой массы достигла 29,65 т/га, при этом лишь у двух образцов (линии 4604/1-2 и Камалинская 611 × Новосибирская) в среднем за 3 года отмечена достоверная прибавка урожайности по отношению к сорту-

¹²Rossiell A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. 1981. Vol. 21. N 6. P. 27–29.

¹³Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.

¹⁴Гончаров П.Л. Методика селекции кормовых трав в Сибири. Новосибирск: «Ревик-К», 2003. 396 с.

¹⁵Ившин Г.И. Селекционная ценность гибридов вики посевной (*Vicia sativa*) в связи с разными способами подбора родительских пар // Кормопроизводство. 2017. № 1. С. 35–39.

стандарту. Гибрид Камалинская 611 × Новосибирская оказался наиболее продуктивным по обоим признакам за годы исследования. Его урожайность зерна и зеленой массы достоверно превышала показатели сорта-стандарта и средних значений в каждый год исследования, однако в 2017 и 2019 гг. линия Байкальская × Г-252 не уступала ему по урожайности семян (см. табл. 1).

Наиболее благоприятными для формирования высокой урожайности зеленой массы были метеоусловия 2017 г.: по всем сортам и линиям (кроме Э-1280, у которой наибольшая урожайность получена в 2018 г.) в этот год урожайность оказалась максимальной. Несмотря на слабое увлажнение мая, вика сформировала хорошую вегетативную массу благодаря достаточному количеству тепла и осадков с июня по июль. Однако для формирования высокой урожайности зерна этот год был самым неудачным – по всем образцам, находившимся в изучении, урожайность оказалась минимальной. Индекс условий среды (I_j), отражающий, насколько благоприятны условия конкретного вегета-

ционного периода для культуры в тот или иной год, для урожайности семян составил –0,5, для зеленой массы – +3,1. Наиболее благоприятными для высокой урожайности семян оказались условия 2019 г. – по всем сортам и линиям в этот год урожайность была максимальной (кроме линий Байкальская × Льговская 34 и Камалинская 611 × Новосибирская, у которых максимальная урожайность получена в 2018 г.). Урожайность зеленой массы, наоборот, в этот год была минимальной для всех образцов: июньская засуха не позволила растениям сформировать высокую вегетативную массу, но им удалось произвести высокий урожай зерна. Индекс условий среды ($I_j = -2,5$) подтверждает негативное влияние засухи в период интенсивного роста вегетативных органов на урожайность зеленой массы. Достаточное количество тепла и влаги в период образования бобов способствовало высокому урожаю семян ($I_j = +0,3$).

Значительные различия по погодным условиям в годы проведения исследований дали возможность провести оценку адап-

Табл. 1. Урожайность вики яровой (полевой) в питомнике предварительного сортоиспытания, т/га
Table 1. Productivity of spring vetch in the nursery of preliminary variety testing, t/ha

Сорт, линия	Зерно				Зеленая масса			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	X_i	2017 г.	2018 г.	2019 г.	X_i
Камалинская 611 (стандарт)	1,50	2,40	2,66	2,19	30,30	27,20	25,30	27,60
Новосибирская	1,80	2,52	2,64	2,32	35,80	26,60	25,20	29,20
Байкальская × Льговская 34	1,60	2,76	2,64	2,33	29,20	28,90	27,70	28,60
Байкальская × Г-252	2,55	2,89	2,92	2,79	32,00	28,20	26,70	28,97
Э-1280	1,72	2,58	2,65	2,32	26,90	29,20	26,30	27,47
4604/1-2	2,01	2,66	2,81	2,49	33,50	29,90	28,10	30,50
ГК-964	2,18	2,73	2,73	2,55	33,30	29,50	27,90	30,23
Камалинская 611 × Новосибирская	2,55	3,16	2,90	2,87	40,70	32,90	30,20	34,60
X_j	1,99	2,71	2,74	2,48	32,71	29,05	27,18	29,65
НСР ₀₅	0,49	0,28	0,14	0,29	5,11	2,31	1,99	2,73
ГТК	1,35	1,43	0,98		1,35	1,43	0,98	
I_j	–0,5	0,2	0,3		3,1	–0,6	–2,5	

Примечание: X_j – средняя урожайность по сортам за год; X_i – средняя урожайность сортов по годам; I_j – индекс условий среды.

тивного потенциала изучаемых образцов (см. табл. 2).

Одним из критериев определения относительной изменчивости урожайности служит коэффициент вариации (CV), который отражает норму реакции генотипа на окружающие условия (см. сноску 7). С этим показателем связан показатель гомеостатичности (Hom), который выражает систему адаптивных реакций организма, обеспечивающих стабилизацию определенного потенциала урожайности в широких границах условий среды (см. сноску 11). В ходе эксперимента установлено, что урожайность зерна – сильно переменный признак ($CV > 20\%$), лишь у двух образцов (Байкальская $\times$ Г-252 и Камалинская 611 $\times$ Новосибирская) варьирование было средним (16 и 19% соответственно). При этом варьирование урожайности зеленой массы у всех образцов было незна-

чительным ($CV < 10\%$). Наибольшую устойчивость в формировании урожайности зерна проявили образцы Байкальская $\times$ Г-252 ($Hom = 0,17$, $CV = 16\%$), Камалинская 611 $\times$ Новосибирская ($Hom = 0,15$, $CV = 19\%$) и ГК-964 ($Hom = 0,12$, $CV = 22\%$). Эти линии наименее переменны и обладают наибольшим гомеостазом из числа изученных. В реализации потенциала продуктивности зеленой массы наиболее устойчивы к изменению условий среды линии Байкальская $\times$ Льговская 34 ($Hom = 9,18$, $CV = 3\%$), Э-1280 ($Hom = 6,10$, $CV = 5\%$) и 4604/1-2 ($Hom = 5,61$, $CV = 5\%$).

В практической селекции для оценки стабильности сортов используют показатель их селекционной ценности (Sc), который основывается на сопоставлении продуктивности в лимитированной и оптимальной средах с учетом усредненного показателя урожайно-

Табл. 2. Параметры адаптивности, экологической пластичности и стабильности вики яровой в агроценозе (2017–2019 гг.)

Table 2. Parameters of adaptability, ecological plasticity and stability of spring vetch in agrocenosis (2017–2019)

Сорт, линия	CV	CU	КС	b_i	δ_d^2	Sc	Hom
<i>Зерно</i>							
Камалинская 611 (стандарт)	36	–1,16	2,08	1,40	0,02	1,23	0,06
Новосибирская	29	–0,84	2,22	1,06	0,00	1,58	0,08
Байкальская $\times$ Льговская 34	34	–1,16	2,18	1,48	0,01	1,35	0,07
Байкальская $\times$ Г-252	16	–0,37	2,74	0,48	0,00	2,43	0,17
Э-1280	31	–0,93	2,19	1,21	0,00	1,50	0,07
4604/1-2	26	–0,80	2,41	0,99	0,01	1,78	0,10
ГК-964	22	–0,55	2,46	0,74	0,00	2,03	0,12
Камалинская 611 $\times$ Новосибирская	19	–0,61	2,86	0,64	0,04	2,32	0,15
<i>Зеленая масса</i>							
Камалинская 611 (стандарт)	6	–5,00	27,80	0,90	0,03	23,05	4,79
Новосибирская	8	–10,60	30,50	2,00	3,09	20,55	3,55
Байкальская $\times$ Льговская 34	3	–1,50	28,45	0,24	0,31	27,13	9,18
Байкальская $\times$ Г-252	6	–5,30	29,35	0,97	0,06	24,17	5,08
Э-1280	5	–2,90	27,75	0,01	4,69	24,74	6,10
4604/1-2	5	–5,40	30,80	0,98	0,00	25,58	5,61
ГК-964	6	–5,40	30,60	0,98	0,03	25,33	5,49
Камалинская 611 $\times$ Новосибирская	7	–10,50	35,45	1,93	0,47	25,67	5,13

Примечание: CV – коэффициент вариации, %; CU – уровень устойчивости к стрессам; КС – компенсаторная способность; b_i – коэффициент регрессии (экологическая пластичность); δ_d^2 – дисперсия (фенотипическая стабильность); Sc – селекционная ценность; Hom – гомеостатичность.

сти для всех сред (см. сноску 11). Чем выше параметр, тем стабильнее сорт [9]. Среди изученных образцов наибольшее значение селекционной ценности отмечено у гибридов Байкальская $\times$ Г-252 ($Sc = 2,43$ по зерновой продуктивности); Байкальская $\times$ Льговская 34 ($Sc = 27,13$ по урожайности зеленой массы) и Камалинская 611 $\times$ Новосибирская ($Sc = 2,32$ по урожайности зерна и $25,67$ – по урожайности зеленой массы). Показатели гомеостаза и селекционной ценности связаны между собой. Генотипы с высокими значениями этих параметров слабо реагируют на ухудшение условий и хорошо отзываются на их улучшение.

Об устойчивости сортов в разных условиях произрастания в первую очередь судят по параметрам пластичности (b_i) и стабильности (δ_d^2) [10]. Сорта, коэффициент регрессии (b_i) которых близок или равен единице, слабо реагируют на изменение среды и считаются пластичными. При коэффициенте регрессии выше единицы, образец относится к сортам интенсивного типа. Чем больше значение b_i , тем более отзывчив сорт на улучшение условий возделывания, однако в неблагоприятных условиях его урожайность резко снижается. При величине b_i меньше единицы сорт относится к нейтральному (экстенсивному) типу, и чем она ниже, тем слабее сорт реагирует на изменения условий среды [10, 11]. По урожайности семян линия 4604/1-2 оказалась самой пластичной ($b_i = 0,99$), т.е. изменение ее урожайности соответствует изменению условий выращивания (см. табл. 2). Самым отзывчивым на улучшение условий среды оказался гибрид Байкальская $\times$ Льговская 34 ($b_i = 1,48$), тогда как гибрид Байкальская $\times$ Г-252 проявил себя как наиболее подходящий для возделывания на экстенсивном фоне ($b_i = 0,48$). По урожайности зеленой массы наиболее пластичными оказались образцы 4604/1-2, ГК-964 и Байкальская $\times$ Г-252 ($b_i = 0,98$; $0,98$ и $0,97$ соответственно). Сорт Новосибирская и гибрид Камалинская 611 $\times$ Новосибирская в годы исследования отзывчивее других реагировали на улучшение условий ($b_i = 2,00$ и $1,93$ соответственно), что позволило отне-

сти их к интенсивным сортам, тогда как линия Э-1280 ($b_i = 0,01$) зарекомендовала себя как образец, не снижающий урожайности при ухудшении условий выращивания.

Стабильность (δ_d^2) – это адаптивная реакция генотипа, характеризующая степень его устойчивости. Величина дисперсии должна стремиться к нулю, и чем она ниже, тем более стабилен сорт, однако это свидетельствует не об его интенсивности, а о лучшей приспособленности к ухудшению условий [10]. Самый низкий показатель дисперсии по урожайности зеленой массы выявлен у линий 4604/1-2 ($\delta_d^2 = 0,00$), ГК-964 ($\delta_d^2 = 0,03$) и сорта Камалинская 611 ($\delta_d^2 = 0,03$). У линии Камалинская 611 $\times$ Новосибирская установлено высокое отклонение дисперсии ($\delta_d^2 = 0,47$), что свидетельствует о более низкой ее устойчивости к ухудшению условий. По зерновой продуктивности все образцы очень стабильны ($\delta_d^2 = 0,00$ – $0,04$).

Исходя из сказанного выше в условиях интенсификации производства наиболее ценными считаются генотипы, у которых $b_i \gg 1$, а δ_d^2 стремится к 0. Они наиболее отзывчивы на улучшение условий, при этом более устойчивы к их ухудшению. По зерновой продуктивности можно выделить сорт Камалинская 611 и линию Байкальская $\times$ Льговская 34, по урожайности зеленой массы – линию Камалинская 611 $\times$ Новосибирская. Следует отметить, что с увеличением пластичности сорта возможно снижение его стабильности [10]. По урожайности биомассы это прослеживается у наиболее интенсивного из всего набора сорта Новосибирская: его устойчивость к ухудшению условий одна из самых слабых.

Для регионов с нестабильностью проявления гидротермических условий по годам и в течение вегетации (таких, как Новосибирская область) большое значение имеет оценка изучаемых образцов на экологическую устойчивость. За годы исследования наибольшую устойчивость к стрессам при формировании зерна проявили линии Байкальская $\times$ Г-252 ($СУ = -0,37$), ГК-964 ($СУ = -0,55$) и Камалинская 611 $\times$ Новосибирская ($СУ = -0,61$), при формиро-

вании зеленой массы – Байкальская × Льговская 34 ($СУ = -1,50$), Э-1280 ($СУ = -2,90$) и сорт-стандарт Камалинская 611 ($СУ = -5,00$). Эти образцы в меньшей степени снижали урожайность под действием неблагоприятных условий, следовательно, диапазон их приспособительных возможностей шире, чем у остальных.

Генетическая гибкость сорта, или его компенсаторная способность, отражает среднюю урожайность в контрастных условиях. Чем выше показатель, тем выше степень соответствия между генотипом и условиями среды (см. сноску 13) [6]. Наиболее генетически гибкой, следовательно, более соответствующей условиям лесостепи Приобья, была линия Камалинская 611 × Новосибирская (КС = 2,86 и 35,45 для продуктивности зерна и зеленой массы соответственно), которая среди изученных образцов обладает наиболее высоким соответствием между потребностями генотипа и выраженностью агроклиматических факторов.

Основным критерием ценности вики как кормовой культуры является высокая продуктивность зеленой массы. Создавая новые сорта для интенсивных технологий возделывания, необходимо сочетать высокую потенциальную продуктивность и стабильность формирования урожайности под действием условий среды, включая устойчивость к многообразию стрессовых факторов.

ВЫВОДЫ

1. Климатические условия оказывают существенное влияние на реализацию потенциала продуктивности. В период эксперимента благоприятным для формирования урожайности зерна оказался 2019 г. ($X_j = 2,74$ т/га; $I_j = 0,3$), для формирования биомассы – 2017 г. ($X_j = 32,71$ т/га; $I_j = 3,1$). Во все годы изучения линия Камалинская 611 × Новосибирская была наиболее урожайной по обоим признакам (но в 2019 г. линия Байкальская × Г-252 была незначительно урожайнее по зерну).

2. По урожайности зерна по комплексу параметров адаптивности выделились образцы Байкальская × Г-252, ГК-964 и Кама-

линская 611 × Новосибирская. Они сочетают в себе высокую урожайность, стабильность, стрессоустойчивость, генетическую гибкость, пластичность и селекционную ценность. Однако в условиях интенсификации производства наиболее ценными являются линия Байкальская × Льговская 34 и сорт Камалинская 611, у которых уровень пластичности максимален, а дисперсия стремится к 0. Стабильная линия Байкальская × Г-252 нейтральна к изменению факторов среды и может быть рекомендована для экстенсивных условий.

3. По величине урожайности зеленой массы и комплексу параметров адаптивности выделилась линия Камалинская 611 × Новосибирская, сочетающая высокую урожайность ($X_i = 34,60$ т/га), генетическую гибкость (КС = 35,45) и селекционную ценность ($Sc = 25,67$) с отзывчивостью на улучшение условий ($b_i = 1,93$), при этом она может приспособляться к их ухудшению ($\delta_d^2 = 0,47$). К числу наиболее ценных генотипов для интенсивного производства можно отнести линию Камалинская 611 × Новосибирская, сочетающую высокую пластичность и стабильность. Стабильная линия Байкальская × Г-252 с низкой пластичностью может быть рекомендована для экстенсивных условий.

4. Для условий Новосибирской области по комплексу признаков рекомендуется линия Камалинская 611 × Новосибирская, сочетающая высокую продуктивность зерна и зеленой массы с отзывчивостью на улучшение условий выращивания, при этом способная приспособляться к их ухудшению. Линия Байкальская × Г-252, сочетающая продуктивность зерна и биомассы на среднем уровне с высокой стабильностью и низкой отзывчивостью на улучшение условий, рекомендуется для возделывания при минимальных затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drannikov A.V., Iskusnykh A.Yu., Derkanosova A.A., Torshina A.A., Kurchaeva E.E., Shevtsov A.A. Use of a complex of biologically active additives in complete compound feed for farm animals // IOP Conference Se-

- ries: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1052. P. 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/1052/1/012020.
2. Амбарцумова К.А., Тошкина Е.А. Однолетние бобовые культуры в смешанных посевах в условиях Новгородского региона // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 25–27. DOI: 10.21515/1999-1703-72-25-27.
 3. Maxin G., Andueza D., Le Morvan A., Baumont R. Effect of intercropping vetch (*Vicia sativa* L.), field pea (*Pisum sativum* L.) and triticale ($\times$ *Triticosecale*) on dry-matter yield, nutritive and ensiling characteristics when harvested at two growth stages // Grass and Forage Science. 2017. Vol. 72. N 4. P. 777–784. DOI: 10.1111/gfs.12277.
 4. Rinke N., Kautz T., Aulrich K., Böhma H. The effect of long-and short-stemmed oat in vetch-oat intercropping on weed infestation, agronomic performance, and grain quality in low input systems // European Journal of Agronomy. 2022. Vol. 140. P. 126611. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126611.
 5. Теличко О.Н., Емельянов А.Н. Оценка гетерозиса по основным элементам продуктивности у гибридов вики яровой первого поколения в условиях Приморья // Кормопроизводство. 2020. № 5. С. 35–38.
 6. Игнатьев С.А., Регидин А.А. Оценка параметров адаптивности коллекционных образцов эспарцета // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3 (63). С. 53–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-53-58.
 7. Санага В.А., Митриковский А.Я. Оценка урожайного и адаптивного потенциала сортов гороха в условиях южной лесостепи Северного Зауралья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 49–52. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-49-52.
 8. Parissi Z., Irakli M., Tigka E., Papastylianou P., Dordas C., Tani E., Abraham E.M., Theodoropoulos A., Kargiotidou A., Kougiteas L., Koussta A., Koskosidis A., Kostoula S., Beslemes D., Vlachostergios D.N. Analysis of Genotypic and Environmental Effects on Biomass Yield, Nutritional and Antinutritional Factors in Common Vetch // Agronomy. 2022. Vol. 12. N 7. P. 1678. DOI: 10.3390/agronomy12071678.
 9. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Экологическая реакция сортов ярового ячменя на абиотические и биотические факторы южной лесостепи Омского региона // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1 (25). С. 224–235. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235.
 10. Пономарева С.В. Экологическая пластичность и стабильность по урожайности семян и зеленой массы гороха полевого в условиях Волго-Вятского региона // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 2 (30). С. 43–48. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11086.
 11. Жданова А.А., Кочнева М.Б. Анализ потенциала адаптивности сортов вики посевной по урожайности зеленой массы в условиях юго-восточной зоны Камчатского края // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 5. С. 33–37. DOI: 10.30850/vrsn/2021/5/33-37.

REFERENCES

1. Drannikov A.V., Iskusnykh A.Yu., Derkanosova A.A., Torshina A.A., Kurchaeva E.E., Shevtsov A.A. Use of a complex of biologically active additives in complete compound feed for farm animals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1052, pp. 012020. DOI: 10.1088/1755-1315/1052/1/012020.
2. Ambarcumova K.A., Toshkina E.A. Annual legumes in mixed crops in the conditions of the Novgorod Region. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2018, vol. 72, pp. 25–27. (In Russian). DOI: 10.21515/1999-1703-72-25-27.
3. Maxin G., Andueza D., Le Morvan A., Baumont R. Effect of intercropping vetch (*Vicia sativa* L.), field pea (*Pisum sativum* L.) and triticale ($\times$ *Triticosecale*) on dry-matter yield, nutritive and ensiling characteristics when harvested at two growth stages. *Grass and Forage Science*, 2017, vol. 72, no. 4, pp. 777–784. DOI: 10.1111/gfs.12277.
4. Rinke N., Kautz T., Aulrich K., Böhma H. The effect of long-and short-stemmed oat in vetch-oat intercropping on weed infestation, agronomic performance, and grain quality in low input systems. *European Journal of Agronomy*. 2022, vol. 140, pp. 126611. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126611.
5. Telichko O.N., Emelyanov A.N. Productivity of F₁ hybrids of Spring Vetch in Primorsky Krai. *Kormoproizvodstvo = Fodder Journal*, 2020, vol. 5, pp. 35–38. (In Russian).

6. Ignatiev S.A., Regidin A.A. The estimation of adaptability parameters of the collection samples of Sainfoin. *Zernovoe hozyajstvo Rossii* = *Grain Economy of Russia*, 2019, vol. 3 (63) pp. 53–58. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-53-58.
7. Sapega V.A., Mitrikovskiy A.Ya. Assessment of yield and adaptive potential of pea varieties in the conditions of the southern forest steppe of the Northern Urals. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 2020, vol. 15, no. 2 (58), pp. 49–52. (In Russian). DOI: 10.12737/2073-0462-2020-49-52.
8. Parissi Z., Irakli M., Tigka E., Papastylianou P., Dordas C., Tani E., Abraham E.M., Theodoropoulos A., Kargiotidou A., Kougiteas L., Koussta A., Koskosidis A., Kostoula S., Beslemes D., Vlachostergios D.N. Analysis of Genotypic and Environmental Effects on Biomass Yield, Nutritional and Antinutritional Factors in Common Vetch. *Agronomy*, 2022, vol. 12, no. 7, pp. 1678. DOI: 10.3390/agronomy12071678.
9. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Safonova I.V. Ecological response of spring barley varieties to abiotic and biotic factors in the southern forest-steppe of the Omsk region. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki* = *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2021, vol. 1 (25), pp. 224–235. (In Russian). DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235.
10. Ponomareva S.V. The ecological plasticity and stability by yield of seeds and green mass of field pea in the conditions of Volgo-Vyatskiy region. *Zernobobovye i krupianye kultury* = *Legumes and Groat Crops*, 2019, vol. 2 (30), pp. 43–48. (In Russian). DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11086.
11. Zhdanova A.A., Kochneva M.B. An adaptability potential analysis of the *Vicia sativa* varieties on the green mass yield in the South Eastern zone of the Kamchatka Territory conditions. *Vestnik rossiiskoi selskokhoziaistvennoi nauki* = *Vestnik of the Russian agricultural science*, 2021, no. 5, pp. 33–37. (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2021/5/33-373.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гончарова А.В., доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; e-mail: goncharovaav@bionet.nsc.ru

✉ **Капко Т.Н.**, научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 375; e-mail: tatjanakapko@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Antonina V. Goncharova, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; e-mail: goncharovaav@bionet.nsc.ru

✉ **Tatyana N. Kapko**, Researcher; **address:** PO Box 375, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: tatjanakapko@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 14.10.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 10.11.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023

ИНДУКЦИЯ КАЛЛУСОГЕНЕЗА СОЦВЕТИЙ ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) *IN VITRO*

✉ Азопкова М.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –
филиал Федерального научного центра овощеводства
Московская область, дер. Верея, Россия

✉ e-mail: tixanish@mail.ru

С целью расширения генетического разнообразия чеснока озимого (*Allium sativum* L.) изучена возможность использования *in vitro* технологии получения соматоклональных вариантов каллусной культуры. Представлены результаты исследования эффективности каллусогенеза соцветий чеснока озимого сорта Гладиатор в зависимости от возраста экспланта (7, 14 и 21 сут с момента выхода соцветий из листовых пазух) и сочетания регуляторов роста (2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты в концентрациях 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 мг/л и кинетина в концентрациях 0,25; 0,5; 1,0 мг/л). Установлено, что ступенчатая стерилизация материала, основанная на последовательной обработке стерилизующими растворами, позволяет получать 92–98% стерильных эксплантов. У соцветий чеснока раннего возраста первые признаки начала каллусогенеза отмечены на 35-е сутки культивирования, а у соцветий в возрасте 21 сут – на 50-е. Зафиксировано образование каллуса из основания соцветий при добавлении в питательную среду 0,5; 1,0 и 2,0 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и кинетина в изучаемых концентрациях. Наиболее интенсивное каллусообразование выявлено у 7-суточных эксплантов на питательной среде Мурасига – Скуга, обогащенной 2,0 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты, а также 0,5 и 1,0 мг/л кинетина. При этом доля эксплантов с каллусом составила 94 и 96% соответственно. Каллусообразование из основания соцветий в возрасте 14 и 21 сут при использовании этих вариантов питательной среды наблюдалось у 44 и 22% эксплантов соответственно.

Ключевые слова: чеснок озимый (*Allium sativum* L.), *in vitro*, эксплант, каллус, регулятор роста

INDUCTION OF GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.) INFLORESCENCE CALLUSOGENESIS *IN VITRO*

✉ Azopkova M.A.

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing –
Branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing
Vereya, Moscow region, Russia

✉ e-mail: tixanish@mail.ru

In order to expand the genetic diversity of winter garlic (*Allium sativum* L.), the possibility of using *in vitro* technology to obtain somaclonal variants of a callus culture was studied. The results of the study of the efficiency of inflorescences callusogenesis of winter garlic cultivar ladiator depending on the explant age (7, 14 and 21 days from the moment when inflorescences emerge from the leaf axils) and the combination of the growth regulators (2,4-dichlorophenoxyacetic acid in concentrations 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 mg/l and kinetin in concentrations 0,25; 0,5; 1,0 mg/l) are presented. It was found that stepwise sterilization of the material, based on sequential treatment with sterilizing solutions, allows obtaining 92-98% sterile explants. The first signs of the beginning of callusogenesis were observed in early garlic inflorescences on the 35th day of cultivation, and in the inflorescences aged 21 days - on the 50th day. Callus formation from the base of inflorescences was recorded when 0.5; 1.0 and 2.0 mg/L of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and kinetin were added to the nutrient medium at the concentrations studied. The most intensive callus formation was detected in 7-day-old explants on the Murashige - Skoog nutrient medium enriched with 2.0 mg/L 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 0.5 and 1.0 mg/L kinetin. The proportion of explants with callus was 94% and 96%, respectively. Callus formation from the base of inflorescences at 14 and 21 days of age using these nutrient media options was observed in 44 and 22% of explants, respectively.

Keywords: winter garlic (*Allium sativum* L.), *in vitro*, explant, callus, growth regulator

Для цитирования: Азопкова М.А. Индукция каллусогенеза соцветий чеснока (*Allium sativum* L.) *in vitro* // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 43–47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-5>

For citation: Azopkova M.A. Induction of garlic (*Allium sativum* L.) inflorescence callusogenesis *in vitro*. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 43–47. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-5>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Благодарность

Автор выражает благодарность научному руководителю доктору биологических наук, профессору А.В. Полякову за помощь в проведении исследований.

Acknowledgements

The author is grateful to the supervisor Doctor of Biological Sciences, Professor A.V. Polyakov for help with the research.

ВВЕДЕНИЕ

Чеснок посевной (*Allium sativum* L.), относящийся к семейству Амариллисовые (Amaryllidaceae) и подсемейству Луковые (Allioideae, Alliaceae), является ценной овощной и лекарственной культурой, широко применяемой в питании человека и фармацевтической промышленности. В нем содержатся витамины, биологически активные вещества: флавоноиды, стероидные сапонины и др.¹ Чеснок характеризуется хорошо развитыми бактерицидными и антиоксидантными свойствами², способностью накапливать высокие концентрации таких эссенциальных элементов, как селен³ [1] и германий⁴.

Для размножения чеснока в основном используют зубки. В этом случае скрытые болезни передаются потомству, приводя к его быстрому вырождению. Ввиду отсутствия у чеснока семенного размножения нет воз-

можности расширить генетическое разнообразие данной культуры традиционными методами селекции.

Однако современные биотехнологические методы позволяют получить в культуре *in vitro* генотипы, являющиеся ценным исходным материалом для селекции. Перспективными считаются следующие направления: продуцирование соматоклональных вариантов, клеточная селекция и мутагенез *in vitro*.

Известны способы получения морфогенного каллуса чеснока из базальной части зубка [2], кончиков корней⁵⁻⁷ [3, 4], апикальных меристем [2, 3, 5], стеблевых и листовых дисков⁸ [6, 7].

Основная цель исследования – подбор оптимального сочетания факторов (возраст экспланта, концентрация регуляторов роста), обеспечивающих получение каллусных тканей чеснока озимого сорта Гладиатор в культуре *in vitro*.

¹Пивоваров В.Ф., Ершов И.И., Агафонов А.Ф. Луковые культуры: монография. М., 2001. 500 с.

²Зеленков В.Н., Лапин А.А., Поляков А.В. Суммарная антиоксидантная активность чеснока озимого отечественной и зарубежной селекции // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. М., 2016. Вып. 23. С. 69–72.

³Голубкина Н.А., Никульшин В.П., Хрынина Ю.А. Особенности внекорневого способа обогащения растений чеснока селеном // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 1. С. 82–85.

⁴Поляков А.В., Алексеева Т.В. Чеснок (*Allium sativum* L.) как источник органического германия // Горизонты науки и образования: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. Алматы, 2018. С. 80–83.

⁵Martin-Urdiroz N., Garrido-Gala J., Martin J., Barandaran X. Effect of light on the organogenic ability of garlic roots using a one step *in vitro* system // Plant Cell Reports. 2004. N 22 (10). P. 721–724.

⁶Zheng Si Jun, Heinken B., Krens F.A., Kik C., Zheng S.J. The development of an efficient cultivar-independent plant regeneration system from callus derived from both apical and non-apical root segments of garlic (*Allium sativum* L.) // *In vitro* Cellular and Developmental Biology-Plant. 2003. N 30 (3). P. 288–292.

⁷Khan N., Alam M.S., Nath U.K. *In vitro* regeneration of garlic through callus culture // Journal of Biological Sciences. 2004. N 4 (2). P. 189–191.

⁸Haque M.S., Wada T., Hattori K., Plas L.H.W., Klerl G.J. Garlic roots for micropropagation through *in vitro* bulblet formation // Proc. the XXV International Horticultural Congress. Brussels, 2000. Part 10: Application of biotechnology and molecular biology and breeding, *in vitro* culture. P. 45–52.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперимент проведен в отделе биотехнологии и инновационных проектов Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства – филиала Федерального научного центра овощеводства в 2019–2021 гг.

Материалом для исследований послужили соцветия чеснока озимого сорта Гладиатор, изолированные на 7, 14 и 21-е сутки после их выхода из пазух листьев.

Сорт Гладиатор включен в Госреестр Российской Федерации с 2011 г., характеризуется как среднеспелый (длина вегетационного периода 90–98 сут), стрелкующийся, отличающийся высокой зимостойкостью, лежкоспособностью и урожайностью [8].

Для введения в *in vitro* применяли ступенчатую стерилизацию. Соцветия промывали 30–60 мин в 10%-м мыльном растворе, 15–20 мин в 0,1%-м растворе марганцовокислого калия, затем 30 с в 70%-м растворе этанола. Далее стерилизовали в 1,0%-м растворе гипохлорита натрия в течение 20 мин, после чего трижды промывали стерильной водой⁹ [9].

Экспланты культивировали на питательной среде Мурасига – Скуга (MS)¹⁰, обогащенной 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой (2,4-Д) и кинетином, концентрации которых представлены в табл. 1. Другие характеристики исследования: постоянная температура 20 °С, освещенность 5000 лк и 16/8-часовой фотопериод.

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли с помощью программного пакета Microsoft Office Excel. Учет проводили каждые 7 сут после введения регуляторов роста в культуру.

Табл. 1. Концентрация регуляторов роста, мг/л
Table 1. Growth regulator concentration, mg/l

2,4-Д	Кинетин			
	0	0,25	0,5	1,0
0,25	+	+	+	+
0,5	+	+	+	+
1,0	+	+	+	+
2,0	+	+	+	+

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований установлено, что не во всех изученных вариантах происходило образование каллуса из основания соцветия. Кроме того, в зависимости от возраста экспланта наблюдались некоторые особенности протекания процесса.

У соцветий раннего возраста первые признаки начала каллусогенеза были отмечены на 35-е сутки культивирования, а у соцветий в возрасте 21 сут – на 50-е. При культивировании соцветий чеснока, изолированных на 7-е сутки с момента выхода стрелки, на питательной среде (обогащена 2,4-Д и кинетином в концентрациях 2,0; 0,5 и 1,0 мг/л соответственно) доля каллусогенных эксплантов составила 94 и 96% соответственно (см. табл. 2).

Табл. 2. Доля каллусогенных эксплантов, % ± 2Sp (n = 100)

Table 2. Proportion of garlic callus explants, % ± 2Sp (n = 100)

2,4-Д, мг/л	Кинетин, мг/л	Возраст эксплантов, сут		
		7	14	21
0,25	0	0	0	0
	0,25	0	0	0
	0,5	0	13,0 ± 6,7	0
	1,0	0	13,0 ± 6,7	0
0,5	0	0	13,0 ± 6,7	0
	0,25	10,0 ± 6,0	12,0 ± 4,6	7,0 ± 5,1
	0,5	12,0 ± 4,6	13,0 ± 6,7	12,0 ± 4,6
	1,0	14,0 ± 6,8	14,0 ± 6,8	12,0 ± 4,6
1,0	0	12,0 ± 4,6	15,0 ± 7,0	13,0 ± 6,7
	0,25	16,0 ± 7,3	26,0 ± 8,8	12,0 ± 4,6
	0,5	30,0 ± 9,1	27,0 ± 8,9	13,0 ± 6,7
	1,0	32,0 ± 9,3	29,0 ± 9,1	14,0 ± 6,8
2,0	0	56,0 ± 9,8	33,0 ± 9,0	21,0 ± 8,0
	0,25	58,0 ± 9,8	33,0 ± 9,0	22,0 ± 8,2
	0,5	94,0 ± 4,7	44,0 ± 9,9	22,0 ± 8,2
	1,0	96,0 ± 3,9	40,0 ± 9,8	22,0 ± 8,2

⁹Поляков А.В., Азопкова М.А., Муравьева И.В. Получение *in vitro* посадочного материала чеснока озимого (*Allium sativum* L.): метод. руководство. М., 2018. 12 с.

¹⁰Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiologia Plantarum*. 1962. Vol. 15. N 13. P. 473–497.

При культивировании эксплантов на питательной среде, содержащей 0,25 мг/л 2,4-Д, не было отмечено образование каллуса.

При культивировании соцветий чеснока в возрасте 7 сут на питательной среде, содержащей 0,5 мг/л 2,4-Д и кинетин в изучаемых концентрациях, доля каллусогенных эксплантов варьировала на уровне 10–14%.

Доля каллусогенных эксплантов, культивируемых на питательной среде, содержащей 1,0 мг/л 2,4-Д, составила 12–32% в зависимости от концентрации кинетина.

Наибольшее количество каллусогенных эксплантов (44 и 40%) зафиксировано при культивировании соцветий чеснока озимого в возрасте 14 сут на питательной среде, содержащей 2,4-Д в концентрации 2,0 мг/л и кинетин в концентрации 0,5 и 1,0 мг/л соответственно.

В процессе культивирования 14-суточных соцветий чеснока на питательной среде, содержащей 0,25–1,0 мг/л кинетина и 1,0 мг/л 2,4-Д, наблюдали образование каллуса у 26,0–27,0% эксплантов; 0,25–1,0 мг/л кинетина и 0,5 мг/л 2,4-Д – у 12,0–14,0%; 0,5 и 1,0 мг/л кинетина и 0,25 мг/л 2,4-Д – у 13,0%.

При культивировании соцветий чеснока в возрасте 21 сут на питательной среде, обогащенной регуляторами роста в изучаемых концентрациях, зафиксировано угнетение эксплантов во всех вариантах, представленных в табл. 2. На питательной среде, содержащей кинетин в заданных концентрациях и 0,25 мг/л 2,4-Д, каллусообразование не отмечено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований по выявлению концентрации регуляторов роста и возраста экспланта, оптимальных для индукции каллусогенеза чеснока озимого, установлено, что наибольшей каллусогенной способностью (94–96%) обладают соцветия в возрасте 7 сут с момента выхода стрелки из листовых пазух; при культивировании на питательной среде MS, обогащенной 2,0 мг/л 2,4-Д, а также 0,5 и 1,0 мг/л кинетина, начало образования каллуса происходит на 10–15 сут раньше, чем у эксплантов в возрасте 14 и 21 сут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Середин Т.М., Агафонов А.Ф., Герасимова Л.И., Солдатенко А.В., Кривенков Л.В. Селекция чеснока озимого на качество продукции: монография. 2-е изд., доп. Омск: Издательский центр КАН, 2020. 115 с.
2. Hassan M.N., Haque M.S., Hassan M.M., Haque M.S. An efficient protocol for somatic embryogenesis of garlic (*Allium sativum* L.) using root tip as explant // Journal of the Bangladesh Agricultural University. 2014. N 12 (1). P. 1–6. DOI: 10.3329/jbau.v12i1.20747.
3. Metwally E.I., Denary M.E., Dewir Y.H., Naidoo Y. *In vitro* propagation of garlic through adventitious shoot regeneration // African Journal of Biotechnology. 2014. N 13 (38). P. 3892–3900. DOI: 10.5897/AJB2014.13931.
4. Khan N., Chaudhary M.F., Abbasi A.M., Khan S.A., Nazir A. et al. Development of an efficient callus derived regeneration system for garlic (*Allium sativum* L.) from root explants // Journal of Plant Breeding and Agriculture. 2017. Vol. 1. N 1. P. 1–12.
5. Скорина В.В., Берговина И.Г., Никонович Т.В. Оптимизация условий регенерации растений озимого чеснока (*Allium sativum* L.) в культуре *in vitro* // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 1. С. 67–72.
6. Mehta J., Sharma A., Sharma N., Megwal S., Sharma G., Gehlot P. et al. An improved method for callus culture and *in vitro* propagation of garlic (*Allium sativum* L.) // International Journal of Pure and Applied Bioscience. 2013. N 1 (1). P. 1–6.
7. Sayed R.H., Mohammad R.H., Shanjida R., Shirin S., Tamanna Q., Moutoshi C., Aunamika H., Md Hasan S., Md Ashraf H. *In vitro* plantlet regeneration of four local garlic (*Allium sativum* L.) Accessions of Bangladesh // British Biotechnology Journal. 2015. N 3. P. 1–12. DOI: 10.9734/BBJ/2015/18619.
8. Поляков А.В. Гладиатор – новый сорт чеснока озимого // Картофель и овощи. 2013. № 9. С. 31–33.
9. Поляков А.В., Азопкова М.А., Лебедева Н.Н., Муравьева И.В. Регенерация растений чеснока озимого (*Allium sativum* L.) *in vitro* из воздушных луковичек // Овощи России. 2018. № 4. С. 20–25. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-4-20-25.

REFERENCES

1. Seredin T.M., Agafonov A.F., Gerasimova L.I., Soldatenko A.V., Krivenkov L.V. *Selection of winter garlic for product quality*. Omsk: Izdatel'skii tsentr KAN, 2020, 115 p. (In Russian).
2. Hassan M.N., Haque M.S., Hassan M.M., Haque M.S. An efficient protocol for somatic embryogenesis of garlic (*Allium sativum* L.) using root tip as explant. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 2014, no. 12 (1), pp. 1–6. DOI: 10.3329/jbau.v12i1.20747.
3. Metwally E.I., Denary M.E., Dewir Y.H., Naidoo Y. *In vitro* propagation of garlic through adventitious shoot regeneration. *African Journal of Biotechnology*, 2014, no. 13 (38), pp. 3892–3900. DOI: 10.5897/AJB2014.13931.
4. Khan N., Chaudhary M.F., Abbasi A.M., Khan S.A., Nazir A. et al. Development of an efficient callus derived regeneration system for garlic (*Allium sativum* L.) from root explant. *Journal of Plant Breeding and Agriculture*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 1–12.
5. Skorina V.V., Bergovina I.G., Nikonovich T.V. Optimization of the conditions of regeneration of winter garlic plants (*Allium sativum* L.) in culture *in vitro*. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 2010, no. 1, pp. 67–72. (In Russian).
6. Mehta J., Sharma A., Sharma N., Megwal S., Sharma G., Gehlot P. et al. An improved method for callus culture and *in vitro* propagation of garlic (*Allium sativum* L.). *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 2013, no. 1 (1), pp. 1–6.
7. Sayed R.H., Mohammad R.H., Shanjida R., Shirin S., Tamanna Q., Moutoshi C., Aunamika H., Md Hasan S., Md Ashraf H. *In vitro* plantlet regeneration of four local garlic (*Allium sativum* L.) Accessions of Bangladesh. *British Biotechnology Journal*, 2015, no. 3, pp. 1–12. DOI: 10.9734/BBJ/2015/18619.
8. Polyakov A.V. Gladiator – a new variety of winter garlic. *Kartofel' i ovoshchi = Potatoes and vegetables*, 2013, no. 9, pp. 31–33. (In Russian).
9. Polyakov A.V., Azopkova M.A., Lebedeva N.N., Murav'eva I.V. Regeneration of winter garlic plants (*Allium sativum* L.) *in vitro* from bulbils. *Ovoshchi Rossii = Vegetable Crops of Russia*, 2018, no. 4, pp. 20–25. (In Russian). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-4-20-25.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Азопкова М.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 140153, Московская область, дер. Верея, строение 500; e-mail: tixanish@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Marina A. Azopkova**, Candidate of Science in Agriculture, Researcher; **address:** 500, Vereya vil., Moscow Region, 140153, Russia; e-mail: tixanish@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 13.05.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 01.08.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ЯЧМЕНЯ В СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Пырников Д.А., (✉) Пуалаккайнан Л.А., Глаз Н.В., Уфимцева Л.В.

ООО «Чебаркульская птица»

Челябинская область, пос. Тимирязевский, Россия

(✉) e-mail: lora708@yandex.ru

Представлена сравнительная оценка сортов ячменя различного эколого-географического происхождения (Челябинский 99, Яик, Омский 95 и Памяти Чепелева). Испытание сортов проводили в полевом опыте на сельхозпредприятии Челябинской области с целью подбора сортимента, обеспечивающего максимальную стабильную урожайность. Всего за годы исследований (2017–2019, 2021–2022) изучено 20 сортов ячменя челябинской, омской, тюменской, свердловской и самарской селекции. Рост и развитие ячменя проходили в контрастные по тепло- и влагообеспеченности вегетационные периоды. Сорт Яик не только показал высокий потенциал продуктивности в годы изучения, но и по размаху урожайности вместе с сортом Памяти Чепелева отмечен наиболее стабильным. Самыми устойчивыми к стрессу были сорта Омский 95 и Челябинский 99. По показателю генетической гибкости лидирует сорт Яик. По степени реакции на условия внешней среды изучаемые сорта разделились на две группы. В первой группе оказался сорт Памяти Чепелева, то есть в условиях данных исследований он слабо отзывался на внешние факторы. Во вторую группу вошли сорта Омский 95, Яик и Челябинский 99, они наиболее отзывчивы на внешние факторы. Наиболее выделился сорт Омский 95, который характеризуется наибольшей экологической пластичностью. Высокая степень стабильности реакции отмечена у сорта Яик, низкая – у остальных сортов. По результатам 5-летних исследований в условиях северной лесостепи Челябинской в целом по результатам расчетов максимальную пластичность и стабильность показал сорт Яик, который рекомендован для сельхозтоваропроизводителей.

Ключевые слова: ячмень, сорт, урожайность, экологическая пластичность, экологическая стабильность

ECOLOGICAL TESTING OF BARLEY IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF THE CHELABINSK REGION

Pyrnikov D.A., (✉) Pualakkainan L.A., Glaz N.V., Ufimtseva L.V.

LLC «Chebarkulskaya Ptitsa»

Timiryazevsky settlement, Chelyabinsk region, Russia

(✉) e-mail: lora708@yandex.ru

A comparative evaluation of barley varieties of different ecological and geographical origin (Chelyabinsky 99, Yaik, Omsky 95 and Pamyati Chepeleva) is presented. The varieties were tested in a field experiment at an agricultural enterprise in the Chelyabinsk region in order to select the assortment which provides the maximum stable yield. A total of 20 barley varieties of Chelyabinsk, Omsk, Tyumen, Sverdlovsk and Samara breeding were studied during the years of research (2017–2019, 2021–2022). Barley growth and development took place in contrasting heat and moisture periods of vegetation. The Yaik variety not only showed high productivity potential in the years of study, but was also marked by the most stable crop yield scale together with the Pamyati Chepeleva variety. The most stress-resistant varieties were Omsky 95 and Chelyabinsky 99. In terms of genetic flexibility, the Yaik variety is the leader. The varieties under study were divided into two groups according to the degree of response to the environmental conditions. The first group included the variety Pamyati Chepeleva, that is, under the conditions of these studies, it was weakly responsive to external factors. The second group included the varieties Omsky 95, Yaik and Chelyabinsky 99, they are the most responsive to external factors. The most prominent variety was Omsky 95 which is characterized by the greatest ecological plasticity. A high degree of stability of the reaction was noted in the variety Yaik, low - in other varieties. According to the results of 5-year research in the

conditions of the northern forest-steppe of the Chelyabinsk region as a whole, the maximum plasticity and stability was shown by the variety Yaik, which is recommended for agricultural producers.

Keywords: barley, variety, productivity, ecological plasticity, ecological stability

Для цитирования: Пырников Д.А., Пуалаккайнан Л.А., Глаз Н.В., Уфимцева Л.В. Экологическое испытание ячменя в северной лесостепи Челябинской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 48–54. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-6>

For citation: Pyrsikov D.A., Pualakkainan L.A., Glaz N.V., Ufimtseva L.V. Ecological testing of barley in the northern forest-steppe of the Chelyabinsk region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 48–54. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-6>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Культура ячменя очень многогранна как по ареалу распространения (возделывается от зоны субтропиков до Крайнего Севера и в высокогорных условиях), так и по сфере применения (сырье для пищевой, перерабатывающей промышленности, для кормопроизводства). В настоящее время кормовое и продовольственное значение культуры уступает только пшенице, кукурузе и рису. В 2022 г. общая посевная площадь зерновых в Российской Федерации составила 28,5 млн га. Ячмень занимал в общей посевной площади более 25% – 7,2 млн га. Наибольшие посевные площади ячменя находятся в Приволжском федеральном округе, за ним следуют Центральный, Сибирский, Южный и Уральский округа¹.

В Челябинской области посевы ярового ячменя занимают от 19 до 25% от общей посевной площади и зависят от спроса на зерно. Увеличение закупочной стоимости зерна ячменя в осенне-зимний период приводит к увеличению посевных площадей, а снижение – к уменьшению².

Определяющее условие для получения высоких и стабильных урожаев в современном сельскохозяйственном производстве – использование сортов, наиболее приспособленных к местным условиям, способных использовать природные ресурсы места произрастания с наибольшей эффективностью [1–4].

Цель исследования – сравнительное изучение сортов ячменя различного эколого-географического происхождения с целью подбора сортимента, обеспечивающего максимальную стабильную урожайность в биоклиматических условиях северной лесостепи Челябинской области

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Испытание сортов проводили на полях отдела первичного семеноводства комплекса растениеводства ООО «Чебаркульская птица» – одного из крупнейших сельхозпредприятий Чебаркульского района Челябинской области.

Чебаркульский район входит в северную лесостепную зону области и характеризуется континентальным климатом с сильно выраженными временами года. Основными особенностями климата являются холодная и продолжительная зима с частыми метелями, сухое и жаркое лето. В настоящее время отмечается тенденция к повышению температур воздуха и снижению количества осадков, наблюдаются изменения климата [5].

Экологическое сортоиспытание ячменя проводили в условиях полевого опыта в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур на делянках общей площадью 26,25 м², учетной площадью – 25 м² в трех-

¹Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения 01.12.2022 г.).

²Пырников Д.А., Пуалаккайнан Л.А. Результаты экологического сортоизучения зерновых культур в условиях северной лесостепи Южного Зауралья // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов. Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. Курск, 2022. С. 32–37.

кратной повторности. Размещение делянок рендомизированное. Норма высева – 5,0 млн всхожих зерен/га.

Почва в опытах – чернозем выщелоченный суглинистый малогумусный средне-мощный. Содержание подвижных форм азота и фосфора в почве среднее, калия – высокое, гумуса – высокое. Почвенный раствор имеет реакцию, близкую к нейтральной. Защита делянок ячменя соответствовала принятой схеме на производственных посевах.

Расчеты параметров экологической пластичности и стабильности сортов ячменя проводили по методике S.A. Eberhard, W.A. Russell³ и по методике А.А. Грязнова⁴. Результаты исследований обработаны с использованием однофакторного и многофакторного дисперсионного анализа.

Всего в 2017–2019 и 2021, 2022 гг. изучено 20 сортов ячменя челябинской, омской, тюменской, свердловской и самарской селекции. В статье представлена сравнительная оценка четырех наиболее перспективных сортов – Челябинский 99 и Яик (ФГБНУ «Челябинский НИИСХ»), Омский 95 (ФГБНУ «Омский АНЦ»), Памяти Чепелева (Уральский НИИСХ – филиал УрФАНИЦ УрО РАН).

Челябинский 99. Среднепоздний, вегетационный период 71–92 дня. Растение среднерослое. Устойчивость к полеганию и засухе средняя. Умеренно восприимчив к гельминтоспориозу и корневым гнилям, восприимчив к пыльной головне. В среднем по региону формировал урожайность 25,6 ц/га. Максимальная урожайность составила 53,2 ц/га и была получена в Республике Башкортостан в 2001 г. Зерно средней крупности, масса 1000 зерен 38–47 г. Содержание белка в зерне 10,6–14,3%. Включен в список пивоваренных сортов РФ [6].

Омский 95. Среднеспелый, вегетационный период 73–86 дней. Куст полупрямостоячий. Растение среднерослое. По устойчивости к полеганию и засухоустой-

чивости проявляет себя на уровне стандартных сортов. Поражается в средней степени твердой головней и гельминтоспориозом, сильно – пыльной головней и корневыми гнилями. За годы изучения урожайность по региону составила 25,6 ц/га. Максимальная урожайность 55 ц/га получена в Тюменской области в 2005 г. Зерно средней крупности, масса 1000 зерен 40–48 г. Содержание белка в зерне 11,6–15,1%. Ценный по качеству [7].

Яик. Среднепоздний, вегетационный период 77–91 день. Растение среднерослое. По устойчивости к полеганию и засухоустойчивости оценивается на уровне стандартных сортов. Восприимчив к каменной головне. Сильно поражается пыльной головней и стеблевой ржавчиной. Бурой ржавчиной в полевых условиях поражен слабо. За годы изучения средняя урожайность в Уральском регионе составила 26,3 ц/га, максимальная – 59,2 ц/га, получена в 2017 г. в Челябинской области. Зерно крупное, масса 1000 зерен 40–50 г. Культура зернофуражного направления. Содержание белка в зерне до 10,1% [8].

Памяти Чепелева. Сорт среднеспелый, вегетационный период 79–99 дней. Растение короткое – средней длины. По устойчивости к полеганию уступает стандартным сортам, а по засухоустойчивости превышает их. Умеренно устойчив к полосатой пятнистости и корневым гнилям. В полевых условиях пыльной головней, гельминтоспориозом и сетчатой пятнистостью поражен в средней степени. Наибольшую урожайность – 81,5 ц/га – показал в Нижегородской области в 2015 г. Зерно крупное, масса 1000 зерен 40–51 г. Сорт ценный по качеству. Содержание белка в зерне 8,6–11,0% [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Большое значение в повышении величины и качества урожая имеет возможность сорта проявить себя в местных условиях.

³Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. 1966. Vol.6. N 1. P. 36–40.

⁴Грязнов А.А. Ячмень Карабалыкский. Кустанай: Кустанайский печатный двор, 1996. 446 с.

Оценка реакции сорта на изменения условий выращивания позволит решить вопросы с обоснованным подбором сортов для каждого хозяйства. Для анализа показателей продуктивного и адаптивного потенциала сортов по варьированию их урожайности учеными разработан ряд методов, позволяющих оценить стабильность урожайности сортов.

Многолетнее полевое испытание позволяет достаточно объективно оценить степень реакции растений на климатические изменения окружающей среды [5, 7, 10]. В наших исследованиях рост и развитие ячменя проходили в годы с различными по тепло- и влагообеспеченности вегетационными периодами, что определило величину урожайности сортов (см. табл. 1).

Урожайность – показатель адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Чем ниже показатель размаха урожайности (d), тем стабильнее продуктивность сорта в конкретных условиях (см. табл. 2).

Сорт Яик не только показал высокий потенциал продуктивности в годы изучения,

но и по размаху урожайности вместе с сортом Памяти Чепелева был наиболее стабильным.

Разность между минимальной и максимальной величиной урожайности ($Y_{\min} - Y_{\max}$) показывает, насколько устойчив сорт к стрессору при изменяющихся метеорологических условиях. Этот показатель имеет отрицательное значение. Чем меньше его абсолютная величина, тем большими приспособительными возможностями обладает сорт, то есть тем выше его стрессоустойчивость. Самыми устойчивыми к стрессу ($Y_{\min} - Y_{\max}$) были сорта Омский 95 и Челябинский 99.

Характеризует сорта по стрессоустойчивости также показатель генетической гибкости $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$, отражающий степень соответствия между генотипом сорта и различными факторами среды. По данному показателю лидирует сорт Яик, показатель генетической гибкости которого составил 5,6.

По степени реакции на условия внешней среды по методике S.A. Eberhard, W.A Russell (см. сноску 3) изучаемые сорта разделились на две группы. В первой группе оказался сорт Памяти Чепелева ($bi < 1$), то есть в

Табл. 1. Урожайность ячменя, ц/га

Table 1. Barley yield, c/ha

Сорт	Год исследования				
	2017	2018	2019	2021	2022
Челябинский 99 (стандарт)	61,17	42,60	34,03	57,20	64,13
Омский 95	48,15	41,60	32,40	50,20	68,49
Яик	57,66	41,70	39,89	55,10	70,63
Памяти Чепелева	58,69	43,82	38,95	49,10	68,03
НСР ₀₅	1,27	1,78	1,53	0,95	3,22

Табл. 2. Адаптивный потенциал сортов ячменя

Table 2. Adaptive potential of barley varieties

Сорт	Урожайность зерна, т/га			Размах урожайности, d , %	Стрессоустойчивость, $Y_{\min} - Y_{\max}$	Генетическая гибкость, $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$
	max	min	средняя			
Челябинский 99 (стандарт)	6,4	3,4	5,2	46,9	- 3,0	4,9
Омский 95	6,8	3,2	4,8	52,9	- 3,6	5,0
Яик	7,1	4,0	5,3	43,7	- 3,1	5,6
Памяти Чепелева	6,8	3,9	5,2	42,6	- 2,9	5,4

Табл. 3. Экологическая пластичность и стабильность урожайности сортов ярового ячменя
Table 3. Ecological plasticity and yield stability of spring barley varieties

Сорт	Урожайность, т/га			Показатель экологической пластичности		
	Lim	X_i	$\pm$ к стандарту, %	По методике S.A. Eberhard, W.A. Russell		По методике А.А. Грязнова
				Коэффициент пластичности (b_i)	Стабильность ($\sigma^2 d$)	ИЭП
Челябинский 99 (стандарт)	3,4–6,4	5,2	100,0	1,0056	19,27	1,050
Омский 95	3,2–6,8	4,8	– 7,7	1,0474	15,16	0,973
Яик	4,0–7,1	5,3	+ 1,9	1,0171	3,61	1,085
Памяти Чепелева	3,9–6,8	5,2	$\pm$ 0,0	0,9298	96,48	1,049

Табл. 4. Ранжирование сортов ячменя по показателям адаптивности, определенным разными методами

Table 4. Ranking of barley varieties according to adaptability indicators determined by different methods

Сорт	По методике В.А. Зыкина	По методике А.А. Rossielle, J. Hemblin		По методике S.A. Eberhard, W.A. Russell		По методике А.А. Грязнова	Сумма рангов
	Размах урожайности d	Стрессоустойчивость $Y_{\min} - Y_{\max}$	Генетическая гибкость $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$	Коэффициент пластичности (b_i)	Стабильность ($\sigma^2 d$)	ИЭП	
Челябинский 99 (стандарт)	3	2	4	3	3	2	17
Омский 95	4	4	3	4	2	4	21
Яик	2	3	1	2	1	1	10
Памяти Чепелева	1	1	2	1	4	3	12

условиях настоящего исследования он слабо отзывался на внешние факторы. Во вторую группу вошли сорта Омский 95, Яик и Челябинский 99, у которых $b_i > 1$, они наиболее отзывчивы на внешние факторы. Наиболее выделился сорт Омский 95 ($b_i = 1,0474$), который характеризуется наибольшей экологической пластичностью (см. табл. 3).

Наилучший показатель степени стабильности реакции ($\sigma^2 d - 3,61$) отмечен у сорта Яик, более низкими показателями характеризовались остальные сорта. Таким образом, сорт Яик в годы исследований отличался более высокой устойчивостью продуктивности.

При расчете показателя индекса экологической пластичности у изученных сортов (по А.А. Грязнову) также лучшим оказался сорт Яик (ИЭП = 1,085).

Использование различных методов определения стабильности и пластичности сортов позволяют получить наиболее полную информацию. Для окончательной оценки использовали принцип ранжирования по параметрам, и оценку проводили по сумме рангов, полученных каждым методом. При этом значимость ранга убывает от 1 до 4 (см. табл. 4). В нашем опыте по сумме рангов лучшим был сорт Яик, за ним следуют сорта Памяти Чепелева, Челябинский 99 и Омский 95.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение сортов в конкретных климатических условиях и определение признаков их пластичности и адаптивности позволяют сделать правильный выбор среди всего разнообразия предлагаемых к использованию культур в пользу сорта, наиболее приспособленного для возделывания в данном хозяйстве. По результатам 5-летних исследований в условиях северной лесостепи Челябинской области в целом по результатам расчетов максимальную пластичность и стабильность показал сорт Яик, который рекомендован для сельхозтоваропроизводителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Биологические особенности и селекционное значение сортов ячменя сибирской селекции // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 1 (248). С. 13–22.
2. Фомина М.Н. Особенности формирования зерновой продуктивности перспективных сортов ячменя в зоне Северного Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 2 (249). С. 28–34.
3. Бессонова Л.В., Неволлина К.Н. Оценка продуктивности и адаптивности сортов ярового ячменя в условиях Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (55). С. 48–50.
4. Сурин Н.А., Зобова Н.В., Ляхова Н.Е. Генетический потенциал и селекционная значимость ячменя Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. № 2. С. 378–386.
5. Vasiliev A.A., Ufimtseva L.V., Glaz N.V., Nokhrin D.Y. Long-term tendencies in climate change of the Urals due to global warming // E3S Web of Conferences. "International Scientific and Practical Conference "Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad", DAIC 2020". 2020. P. 5001. DOI: 10.1051/e3s-conf/202022205001.
6. Пуалаккайнан Л.А. Яровой ячмень Челябинский 99 // Земледелие. 2010. № 6. С. 47–48.
7. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е. Культура ячменя в Восточной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. № 4 (127). С. 52–65.

8. Прядун Ю.П. Новый сорт ярового ячменя Яик // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (80). С. 84–88.
9. Безгодов А.В., Максимов Р.А. Характеристика нового сорта ярового ячменя Памяти Чепелева и особенности технологии его возделывания // Научные исследования: от теории к практике. 2016. № 4–1 (10). С. 216–229.
10. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Исламгулов Д.Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений: монография. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. 100 с.

REFERENCES

1. Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Biological features and selection value of barley varieties bred in Eastern Siberia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2016, no. 1 (248), pp. 13–22. (In Russian).
2. Fomina M.N. Features of grain productivity formation in promising barley varieties in Northern Trans-Ural. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2016, no. 2 (249) pp. 28–34. (In Russian).
3. Bessonova L.V., Nevolina K.N. Assessment of spring barley varieties yielding and their adaptability to the conditions of Preduralye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2015, no. 5 (55), pp. 48–50. (In Russian).
4. Surin N.A., Zobova N.V., Lyakhova N.E. The genetic potential of barley in Siberia and its importance for breeding. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2014, no.2, pp. 378–386. (In Russian).
5. Vasiliev A.A., Ufimtseva L.V., Glaz N.V., Nokhrin D.Y. Long-term tendencies in climate change of the Urals due to global warming. E3S Web of Conferences. "International Scientific and Practical Conference "Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad", DAIC 2020", 2020, p. 5001. DOI: 10.1051/e3sconf/202022205001.
6. Pualakkainan L.A. Spring barley variety Chelyabinsky 99. *Zemledelie* = *Zemledelie*, 2010, no. 6, pp. 47–48. (In Russian).

7. Surin N.A., Iyakhova N.E. Culture of barley in Eastern Siberia. *Vestnik KrasGAU= The Bulletin of KrasGAU*, 2017, no. 4 (127), pp. 52–65. (In Russian).
8. Pryadun Yu.P. The new Yaik variety of spring barley. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2019, no. 6 (80), pp. 84–88. (In Russian).
9. Bezgodov A.V., Maksimov R.A. Characteristics of a new variety of spring barley Pamiati Chepelev and features of its cultivation technology. *Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike = Scientific research: from theory to practice*, 2016, no. 4–1 (10), pp. 216–229. (In Russian).
10. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Islamgulov D.R. *Methodology for calculating and evaluating the parameters of ecological plasticity of agricultural plants*. Ufa: Bashkir SAU, 2011. 100 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пырников Д.А., генеральный директор

✉ **Пуалаккайнан Л.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, начальник отдела; **адрес для переписки:** Россия, 456404, Челябинская область, Чебаркульский район, пос. Тимирязевский, ул. Мичурина, 3; e-mail: lora708@yandex.ru

Глаз Н.В., кандидат сельскохозяйственных наук, начальник отдела

Уфимцева Л.В., кандидат биологических наук, доцент, специалист

AUTHOR INFORMATION

Dmitriy A. Pyrsikov, Director General

✉ **Lidiya A. Pualakkainan**, Candidate of Science in Agriculture, Department Head; **address:** 3, Michurina St., Timiryazevsky settl., Chebarkulsky District, Chelyabinsk Region, 456404, Russia; e-mail: lora708@yandex.ru

Nikolai V. Glaz, Candidate of Science in Agriculture, Department Head

Larisa V. Ufimtseva, Candidate of Science in Biology, Associate Professor, Specialist

Дата поступления статьи / Received by the editors 09.12.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 24.01.2023
Дата публикации / Published 20.03.2023



УСТОЙЧИВОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К ВОЗБУДИТЕЛЯМ ЛИСТОВЫХ БОЛЕЗНЕЙ

✉ Дорошенко Е.С., Шишкин Н.В.

Аграрный научный центр «Донской»

Ростовская область, г. Зерноград, Россия

✉ e-mail: katyalevchenko1@mail.ru

Потери урожая ярового ячменя из-за эпифитотий различных листовых заболеваний могут составлять 30–50%. Самыми распространенными патогенами в Ростовской области считаются мучнистая роса и гельминтоспориозные пятнистости. Наиболее эффективный и доступный способ изучить устойчивость новых сортов – использование искусственных инфекционных фонов, где в провокационных и экстремальных условиях происходит отбор родительских форм и селекционных линий, наиболее устойчивых к патогенам. Исследования проведены в течение трех лет (2020–2022) на инфекционном стационарном участке. Целью исследования стало выявление среди изучаемых сортов и линий ярового ячменя, стабильно устойчивых и резистентных к распространенным в Ростовской области листостебельным патогенам. Объектом исследования послужили сорта ярового ячменя различного эколого-географического происхождения. Число изучаемых образцов варьировало: в 2020 г. – 215, 2021 г. – 256, 2022 г. – 196. В период исследования погодные условия были различными по температурному режиму и количеству осадков. В результате полевой оценки на искусственном инфекционном фоне выделены сорта и линии ярового ячменя с высокой устойчивостью к изученным патогенам. Высокоустойчивыми к мучнистой росе оказались KWS-11-228 и Pioneer (Франция), Саншайн, Margret, Viking, Laurika и Tituringia (Германия), Perun (Чехия), Tipple (Англия), Калита, Леон и Тонус (Россия), Оболонь и Чаривный (Украина). Устойчивость к гельминтоспориозным пятнистостям проявили сорта Русь, Таловский 9, Тонус и Эльф (Россия), Эней (Украина). Также выделены образцы, имеющие устойчивость к обоим патогенам: Леон, Тонус, Эльф, Федос, Формат и Азимут (Россия), Margret, Prestige и Viking (Германия), Perun (Чехия).

Ключевые слова: яровой ячмень, устойчивость, толерантность, патоген, мучнистая роса, гельминтоспориозные пятнистости

SPRING BARLEY RESISTANCE TO LEAF DISEASE PATHOGENS

✉ Doroshenko E.S., Shishkin N.V.

Agricultural Research Center “Donskoy”

Zernograd, Rostov region, Russia

✉ e-mail: katyalevchenko1@mail.ru

Yield losses of spring barley due to epiphytotics of various leaf diseases can be as high as 30–50%. The most common pathogens in the Rostov region are powdery mildew and helminthosporium blotches. The most effective and accessible way to study the resistance of new varieties is to use artificial infectious backgrounds where parental forms and breeding lines most resistant to pathogens are selected under provocative and extreme conditions. The studies were conducted over a three-year period (2020–2022) at an infectious disease stationary site. The purpose of the study was to identify the varieties which were consistently stable and resistant to the common frondiferous pathogens among the studied varieties and lines of spring barley in the Rostov region. Varieties of spring barley of

different ecological and geographical origin were the object of research. The number of the studied samples varied: in 2020 - 215 varieties, 256 in 2021, and 196 in 2022. The weather conditions varied in temperature and precipitation during the study period. As a result of field evaluation on artificial infection background, spring barley varieties and the lines with high resistance to the studied pathogens were identified. Highly resistant to powdery mildew were the varieties KWS-11-228 and Pioneer (France), Sunshine, Margret, Viking, Laurika and Tituringia (Germany), Perun (Czech Republic), Tipple (England), Kalita, Leon and Tonus (Russia), Obolon and Charivny (Ukraine). The varieties Rus, Talovsky 9, Tonus and Elf (Russia), and Eney (Ukraine) showed resistance to *Helminthosporium* blotches. Also, samples with resistance to both pathogens were identified: Leon, Tonus, Elf, Fedos, Format and Azimut (Russia), Margret, Prestige and Viking (Germany), Perun (Czech Republic).

Keywords: spring barley, resistance, tolerance, pathogen, powdery mildew, *helminthosporium* blotches

Для цитирования: Дорошенко Е.С., Шишкин Н.В. Устойчивость ярового ячменя к возбудителям листовых болезней // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 55–63. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-7>

For citation: Doroshenko E. S., Shishkin N. V. Spring barley resistance to leaf disease pathogens. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 55–63. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-7>

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 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 0505-2022-0005 «Оценить исходный материал сельскохозяйственных культур с помощью молекулярно-генетических, физиологических, технологических и биохимических методов идентификации на высокое качество зерна, зеленой массы и устойчивостью к био- и абиотическим стрессорам»).

Acknowledgments

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (subject No. 0505-2022-0005 "Evaluation of the initial material of crops using molecular genetic, physiological, technological and biochemical methods of identification for high quality of grain, green mass and resistance to bio- and abiotic stressors").

ВВЕДЕНИЕ

Южный федеральный округ (ЮФО) – один из основных зернопроизводящих регионов Российской Федерации. Под ячмень здесь отводят наибольшие площади посева зернофуражных культур. На долю ЮФО, в котором расположена Ростовская область, приходится 12–15% общероссийского производства ячменя [1, 2].

Ежегодно отмечают потерю урожайности возделываемых сортов ячменя от воздействия погодных условий, а также развития различных грибных заболеваний [3]. Резкие колебания климатических условий, отмеченные в области в последние годы: существенные перепады температурного режима, обильные осадки, чередующиеся с засухой и пониженной атмосферной влажностью воздуха, приводят к скачкам в развитии в естественных условиях наиболее распространенных и вредоносных болезней [4]. Каждый патоген по-своему опасен: мо-

жет происходить поражение вегетативных органов, приводящее к гибели растений (корневые гнили) или снижению их продуктивности (ржавчинные болезни, мучнистая роса, различные пятнистости), а также к поражению репродуктивных органов (спорынья, различные виды головни) [5, 6].

По многолетним наблюдениям и исследованиям отмечено преобладание в посевах ярового ячменя таких листостебельных заболеваний, как мучнистая роса (возбудитель – гриб *Blumeria graminis* (DC.) Speer) и гельминтоспориозные пятнистости: сетчатая (возбудитель – *Pyrenophora teres* Drechsler) и темно-бурая (возбудитель – *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker). Оба патогена относятся к наиболее вредоносным болезням ячменя. Прямо и косвенно воздействуя на растения, они вызывают снижение продуктивности и качества зерна. При благоприятном гидротермическом режиме могут покрывать всю ассимиляционную поверхность листьев

растений. Встречаются во всех регионах возделывания культуры [7–9].

Основой современной стратегии в селекции сельскохозяйственных культур является адресность, которая заключается в необходимости создания системы сортов, климатически и экологически дифференцированных, адаптированных к конкретным условиям каждого региона [10]. Для создания таких сортов анализ исходного материала должен быть полным и разносторонним, осуществлять его необходимо в условиях данного региона, в том числе в фитосанитарных [11]. Обусловлено это неразрывным развитием растения-хозяина и патогена. Только в этом случае можно оценить взаимодействие всех факторов получения качественного и высокого урожая.

Цель исследования – выявить среди изучаемых сортов и линий ярового ячменя стабильно устойчивые и резистентные к распространенным в Ростовской области листостебельным патогенам.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в течение трех лет (2020–2022) на инфекционном стационарном участке лаборатории иммунитета и защиты растений Аграрного научного центра «Донской».

Объектом исследования послужили сорта ярового ячменя различного эколого-географического происхождения (Украина, Беларусь, Германия, Голландия, Чехия, Дания и различные регионы России), а также сорта и линии селекции Аграрного научного центра «Донской». Число изучаемых образцов варьировало: в 2020 г. – 215, 2021 г. – 256, 2022 г. – 196. Посев осуществляли в оптимальные сроки ручными сажалками. Заражение деленок проводили местными расами наиболее распространенных патогенов.

Для создания провокационного фона листостебельных заболеваний инфекционный

участок с осени обсеивали озимым сортом Мастер – накопителем инфекции. Восприимчивость данного сорта проявляется уже в конце ноября. В зиму он уходит с единичными признаками поражения. В осенне-зимний период патогены на нем накапливаются и развиваются. К началу весенней вегетации растения поражаются до 10%. Весной ветром и каплями дождя мицелий и споры гриба переносятся на всходы растений изучаемых яровых сортов. К стадии молочно-восковой спелости поражение их может достигать 80–90%.

Образцы ярового ячменя высевали ручными сажалками в двухрядковые деланки длиной 1 п.м. в ярусе длиной 15 м. Площадь деланки составляла 0,7 м², повторность однократная. Для большей инфекционной нагрузки в питомнике через каждые 20 деленок изучаемых сортов располагался восприимчивый тестовый сорт ярового ячменя Золотник.

Фитопатологическую оценку проводили в динамике (2–3 раза за вегетационный период), начиная с фазы выхода в трубку растений до молочно-восковой спелости. Градацию сортов на группы устойчивости проводили по максимальному проценту поражения за все годы исследований. Классификацию типа устойчивости у образцов проводили согласно методикам ВИР и ВИЗР (см. табл. 1)^{1,2}.

Для Ростовской области характерен резко континентальный климат. Преобладают юго-восточные ветра с сильными порывами, вызывающие засуху и суховеи [12]. Отмечен устойчивый рост температуры воздуха в период вегетации яровых колосовых культур (апрель – июль), в то время как количество осадков в этот период уменьшается. Тенденция аридности климата усиливается [13].

В мае 2020 г. среднесуточная температура воздуха составляла 16,5 °С, находясь на уровне средне многолетних значений

¹Кривенко В.И., Лебедева Т.В., Пеуша Х.О. Мучнистая роса злаков // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие. М.: РАСХН, 2008. С. 86–106.

²Коновалова Г.С. Сетчатая пятнистость ячменя // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: метод. пособие. М.: РАСХН, 2008. С. 136–142.

Табл. 1. Шкала оценки устойчивости ярового ячменя к листовым болезням**Table 1.** Scale for assessing resistance of spring barley to leaf diseases

Балл	Мучнистая роса	Гельминтоспориозные пятнистости
0	Высокоустойчивые образцы: без поражения	Высокоустойчивые образцы: без поражения
1	Практически устойчивые: поражено до 10% листовой поверхности, легкий налет или единичные подушечки гриба на листьях нижнего яруса	Практически устойчивые: единичные пятна на нижних листьях
2	Слабовосприимчивые: поражено 11–25% листовой поверхности. Умеренное количество подушечек на листьях нижнего яруса	Слабовосприимчивые: поражено более 50% листовой поверхности нижних листьев и единичные пятна на листьях второго яруса
3	Средневосприимчивые: поражено 25–50% листовой поверхности. Обильное развитие гриба на нижних листьях, на верхних листьях подушечки локальные, рассеянные	Средневосприимчивые: нижние листья отмирают, поражено более 50% поверхности листьев второго яруса и единичные пятна на верхних листьях
4	Сильновосприимчивые: поражено более 50% листовой поверхности. Сильно поражены все листья, подушечки хорошо выражены, сливаются с обильными гифами. Поражение колоса	Сильновосприимчивые: нижние листья отмирают, листовая поверхность всех ярусов поражена более чем на 50%

(15,4 °C). Осадки выпадали неравномерно, но запаса влаги хватило для развития патогенов. Июнь характеризовался высокой температурой и воздушной засухой, способствовавшими прекращению развития мучнистой росы, но не повлиявшими на развитие гельминтоспориоза.

Весна и лето 2021 г. характеризовались повышенной температурой (+1,2 °C к среднемноголетней) и обилием осадков 243,9 мм (+112,9 мм к среднемноголетнему значению). Температура в мае была повышенной – 18,1 °C (+1,6 °C к среднемноголетней). Выпало 65,0 мм осадков (+13,7 мм к среднемноголетнему значению). Июнь также был дождливым – выпало 103,9 мм осадков (+32,6 мм к среднемноголетнему значению). Такие благоприятные условия способствовали продолжительному развитию мучнистой росы и пятнистостей.

Самыми засушливыми условиями характеризовался 2022 г. В апреле выпало 57,9 мм (+15,2 мм к среднемноголетнему значению). Благоприятный температурный режим – 12,7 °C (+2 °C к среднемноголетнему значению) и влажность воздуха – 73% (65% – среднемноголетний показатель) позволили патогенам получить широкое распространение. Условия мая поддержива-

ли их дальнейшее развитие на растениях: 19,1 мм (–32,2 мм к среднемноголетнему) и 14,8 °C (–1,7 °C к среднемноголетним показателям) до III декады. Дальнейшие жесткие условия июня привели к усыханию листьев и гибели патогенов на них: 19,1 мм (–32,2 мм к среднемноголетнему значению) и 7,4 мм (–3,9 мм к среднемноголетнему) соответственно.

В целом сложившиеся погодные условия позволили оценить материал по устойчивости к патогенам. Развитие инфекции отмечено в разной степени во все годы исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2020 г. на растениях ярового ячменя степень поражения мучнистой росой не поднималась выше средней (восприимчивый тест-сорт поражался на 3 балла). Такой же уровень отмечен у 37 образцов (Миар, Зерноградский 1793, Зерноградский 1783, Челябинский 99 и Суздалец (Россия) и др.). Большая часть (101) исследуемых образцов имела слабое поражение листовой поверхности (Odin (Дания), Эней (Украина), Хаджибей, Рубикон, Зерноградский 1808 и Зерноградский 1794 (Россия) и др.). Выделено 76 образцов с очень слабым пора-

жением мучнистой росой (84469/70 (Чехия), Дзівосны (Украина), Eifel (Франция), 3 YSBYM-03 (Дания), Федос × Приазовский 9 и Зерноградский 1638 (Россия) и др.). Непораженным патогеном был Margret (Германия) (см. рис. 1).

В 2021 г. в благоприятных для проявления данного патогена условиях в питомнике ярового ячменя отмечено большое распространение и длительный период развития мучнистой росы на растениях. Сильное поражение (выше уровня тест-сорта) имели шесть образцов: Талер и Мрия (Украина), Pasadena (Германия), Dolly (Канада), Миар и Медикум 11 (Россия). Среднее поражение (до 50% поверхности листа) на уровне восприимчивого сорта имели 20 образцов: Зерноградский 1794, Грис × Донецкий 15 и Федос × Зерноградский 1562 (Россия), Pasadena (Германия) и др. Большее число (141) изученных образцов имели слабое поражение патогеном: Грис × Зерноградский 1600, Маруся, Краснояржский 6, Азимут, Одесский 100

и Зерноградский 1772 (Россия) и др. Очень слабо поражены 58 образцов: Laurika (Германия), Зерноградский 1726, Леон, Командир и Нутанс 642 × Эксплоер (Россия) и др. Не пораженными патогеном за период вегетации остался 31 образец: Калькюль и Prestige (Германия), Tipple (Англия), Perun (Чехия) и др.

В условиях 2022 г. развитие мучнистой росы на яровом ячмене началось достаточно рано – в середине мая. Влаги хватило для широкого распространения патогена по питомнику и быстрому нарастанию по ярусам растений. Усыхание листьев на растениях в июне привело к отмиранию на них патогенов. В таких условиях все 196 исследуемых сортов разделились на практически устойчивые и слабовосприимчивые. При этом практически устойчивых выделено 115 образцов: Margret (Германия), Леон, Формат, Магнит, Кумир, Зерноградский 1872, Зерноградский 1844 и Зерноградский 1865 (Россия) и др. Слабовосприимчивых сортов

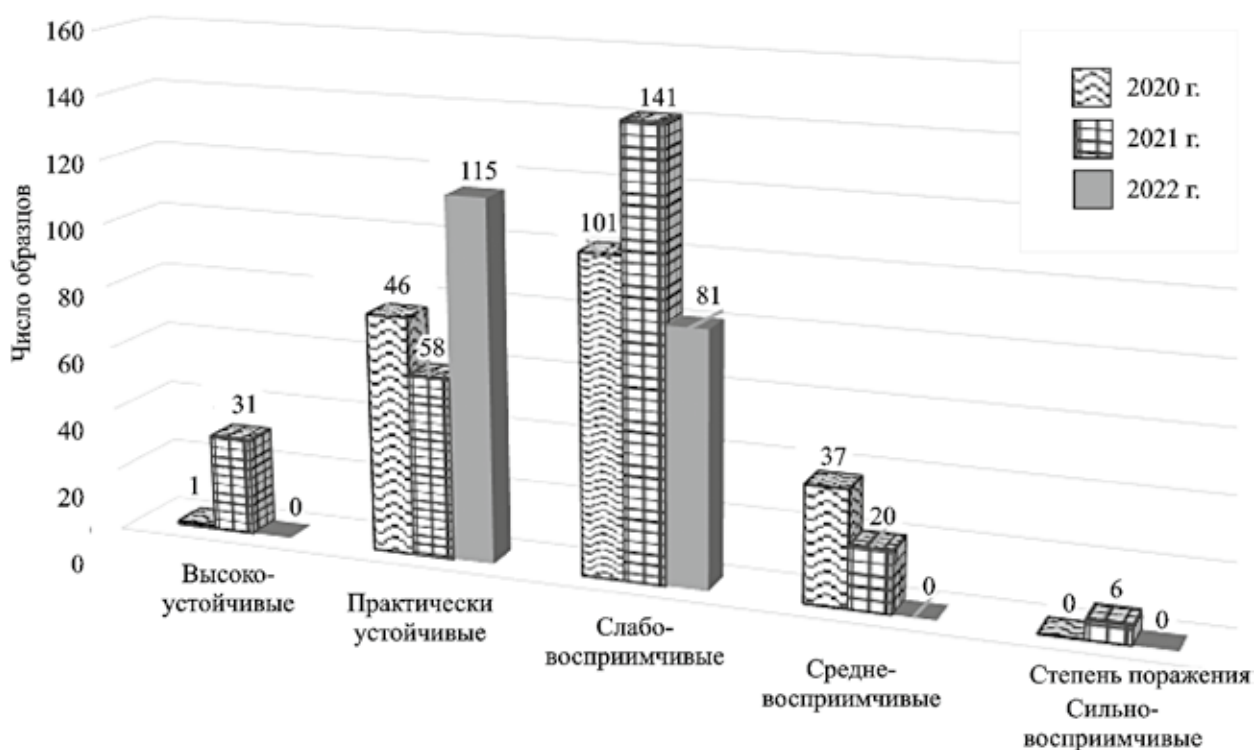


Рис. 1. Распределение изучаемых образцов ярового ячменя по поражению мучнистой росой в питомнике в 2020–2022 гг.

Fig. 1. Distribution of the studied samples according to powdery mildew infestation in the spring barley nursery (2020–2022)

выделено 81: Липень (Беларусь), Astoria (Франция), Scarlett (Германия), Зерноградский 1726, Багрец, Нутанс 129 и Медикум 11 (Россия) и др.

Засушливые условия 2020 г. сдерживали развитие гельминтоспориозных пятнистостей в питомнике ярового ячменя и привели к быстрому усыханию листовой пластины. В таких условиях у шести образцов наблюдали среднее поражение (3 балла) патогеном: KWS-11-243 и Astoria (Франция), Tipple (Англия), Вакула, Ратник × Донецкий 15 и Краснояружский 6 (Россия). Слабо подвержены пятнистостям были 29 образцов, в основном из коллекционного материала: Східний и Мрия (Украина), местный к-19109, Камышинский 23, Омский голозерный и Зерноградский 244 (Россия) и др. Очень слабое поражение отмечено у 75 образцов: Прерия, Биос 1, Зерноградский 385, Зерноградский 1792 и Миар (Россия) и др. В сложившихся условиях не пораженны-

ми патогеном были 105 образцов: Viking и Cw 102236 (Германия), Зерноградский 1636, Зерноградский 1825 и Владимир (Россия) и др. (см. рис. 2).

В 2021 г. условия сложились благоприятно для развития гельминтоспориозных пятнистостей. Отмечено их достаточно равномерное распространение. Среднее поражение (3 балла) на уровне восприимчивого тест-сорта отмечено у сорта Тимофей (Россия). Большинство изученных образцов в основном относилось к слабовосприимчивым (2 балла) и очень слабовосприимчивым (1 балл) (123 и 129 соответственно). Непораженных выявлено семь образцов: Эйфель (Франция), Партнер (Украина), Зерноградский 1874, Осколец, Фокус, Грейс и Багрец (Россия).

В 2022 г. развитие пятнистостей началось с середины мая. Июньская засуха способствовала усыханию листовой пластины и остановке дальнейшего развития патогена.



Рис. 2. Распределение изучаемых образцов ярового ячменя по поражению гельминтоспориозными пятнистостями в питомнике в 2020–2022 гг.

Fig. 2. Distribution of the studied samples according to helminthosporium blotches in the spring barley nursery (2020–2022)

Табл. 2. Иммунологическая характеристика выделившихся по комплексной устойчивости сортов ярового ячменя, балл**Table 2.** Immunological characteristics of the spring barley varieties identified according to complex resistance, point

Сорт / образец	Мучнистая роса			Гельминтоспориозные пятнистости		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Восприимчивый	3	2	2	2	2	2
Margret (Германия)	0	0	1	2	1	1
Perun (Чехия)	1	0	1	1	2	1
Prestige (Германия)	1	0	1	2	2	1
Viking (Германия)	1	0	1	0	2	1
Леон (Россия)	1	1	1	0	1	1
Тонус (Россия)	1	1	1	2	1	1
Эльф (Россия)	1	1	1	0	1	1
Федос (Россия)	1	1	1	0	1	1
Формат (Россия)	1	1	1	0	1	1
Азимут (Россия)	3	1	1	0	2	1

Практически устойчивыми к патогену были 175 изученных сортов: Laurika (Германия), Explorer и Pioneer (Франция), Зерноградский 1801, Грис, Федос, Азимут, Формат и Новик (Россия) и др. Слабовосприимчивыми отмечен 21 сорт: Норд 071111, Партнер, Схидний и Командир (Украина), Маруся, Степ и Богатырь (Россия) и др.

По результатам исследований выделен ряд сортов, обладающих комплексной устойчивостью к изучаемым патогенам (см. табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате полевой оценки на искусственном инфекционном фоне выделены сорта и линии ярового ячменя с высокой устойчивостью к изученным патогенам. Высокоустойчивыми к мучнистой росе оказались KWS-11-228 и Pioneer (Франция), Саншайн, Margret, Viking, Laurika и Tituringia (Германия), Perun (Чехия), Tipple (Англия),

Калита, Леон и Тонус (Россия), Оболонь и Чаривный (Украина). Устойчивость к гельминтоспориозным пятнистостям проявили сорта Русь, Таловский 9, Тонус и Эльф (Россия), Эней (Украина). Также выделены образцы, имеющие устойчивость к обоим патогенам: Леон, Тонус, Эльф, Федос, Формат и Азимут (Россия), Margret, Prestige и Viking (Германия), Perun (Чехия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dontsova A.A., Alabushev A.V., Lebedeva M.V., Potokina E.K. Analysis of polymorphism of microsatellite markers linked to a long-term net form of net blotch resistance gene in winter barley varieties in the south of Russia // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2018. N 78. P. 317–323. DOI: 10.31742/IJGPB.78.3.4.
2. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. Is. 2. P. 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121.
3. Дорошенко Е.С., Дорошенко Э.С., Шишкин Н.В. Полная иммунологическая характеристика коллекции голозерного ячменя в условиях южной зоны // Аграрный вестник Урала. 2022. № 8 (223). С. 15–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26.
4. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Засыпкина И.М., Брагин Р.Н. Оценка исходного материала ячменя в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1(79). С. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10.
5. Семенова А.Г., Анисимова А.В., Ковалева О.Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (4). С. 108–116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116.
6. Левитин М.М., Афанасенко О.С., Гагкаева Т.Ю., Ганнибал Ф.Б., Гулятьева Е. И., Мироненко Н.В. Популяционные исследования грибов – возбудителей болезней зерновых культур // Вестник защиты растений. 2019. № 4 (102). С. 5–16. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16.

7. Левитин М.М. Современные видовые названия фитопатогенных грибов // Защита и карантин растений. 2018. № 8. С. 8–11.
8. Баташева Б.А., Абдуллаев Р.А., Ковалева О.Н., Звейнек И.А., Радченко Е.Е. Устойчивость ячменя к мучнистой росе на юге Дагестана // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (1). С. 153–156. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-153-156.
9. Лашина Н.М., Афанасенко О.С. Поражаемость пятнистостями сортов ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений и находящихся на сортоиспытаниях в условиях северо-запада Российской Федерации // Вестник защиты растений. 2019. № 2 (100). С. 23–28. DOI: 10.31993/2308-6459-2019-2(100)-23-28.
10. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Костенко С.И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. № 4. С. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044.
11. Филиппов Е.Г., Брагин Р.Н., Донцова А.А., Донцов Д.П. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3 (27). С. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179.
12. Брагин Р.Н., Филиппов Е.Г. Оценка показателей адаптивности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях изменчивости природной среды // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 3. С. 18–24. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-18-24.
13. Парамонов А.В., Федюшкин А.В., Целуйко О.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зерна ярового ячменя в приазовской зоне Ростовской области // Мелиорация и гидротехника. 2020. № 2 (38). С. 151–162. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-151-162.
2. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 937, is. 2, pp. 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121.
3. Doroshenko E.S., Doroshenko E.S., Shishkin N.V. Complete immunological characteristics of the collection of hull-less barley in the conditions of the southern zone. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2022, no. 8 (223), pp. 15–26. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-223-08-15-26.
4. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Zasyapkina I.M., Bragin R.N. Estimation of the initial material of spring barley in the Rostov region. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2022, no. 1 (79), pp. 3–10. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10.
5. Semenova A.G., Anisimova A.V., Kovaleva O.N. Resistance of modern spring barley cultivars to harmful organisms. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2021, vol. 182, no. 4, pp. 108–116. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116.
6. Levitin M.M., Afanasenko O.S., Gagkaeva T.Yu., Gannibal F.B., Gul'tyaeva E.I., Mironenko N.V. Population studies of fungi causing the diseases of grain crops. *Vestnik zashchity rastenii = Plant protection news*, 2019, no. 4 (102), pp. 5–16. (In Russian). DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-5-16.
7. Levitin M.M. Updated specific names of the plant pathogenic fungi. *Zashchita i karantin rastenii = Plant protection and quarantine*, 2018, no. 8, pp. 8–11. (In Russian).
8. Batasheva B.A., Abdullaev R.A., Kovaleva O.N., Zveinek I.A., Radchenko E.E. Powdery mildew resistance of barley in Southern Dagestan. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii = Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2021, no. 182 (1), pp. 153–156. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-153-156.
9. Lashina N.M., Afanasenko O.S. Susceptibility to leaf blights of commercial barley cultivars in north-western region of Russia. *Vestnik zashchity rastenii = Plant Protection News*, 2019, no. 2 (100), pp. 23–28. (In Russian). DOI: 10.31993/2308-6459-2019-2(100)-23-28.

REFERENCES

1. Dontsova A.A., Alabushev A.V., Lebedeva M.V., Potokina E.K. Analysis of polymorphism of microsatellite markers linked to a long-term net form of net blotch resistance gene in winter barley varieties in the south of Russia. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2018, no. 78, pp. 317–323. DOI: 10.31742/IJGPB.78.3.4.

10. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I., Kostenko S.I. Fundamentals for forage crop breeding and seed production in Russia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2021, vol. 25, no. 4, pp. 401–407. (In Russian). DOI: 10.18699/VJ21.044.
11. Filippov E.G., Bragin R.N., Dontsova A.A., Dontsov D.P. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki = Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, 2021, no. 3 (27), pp. 172–179. (In Russian). DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179.
12. Bragin R.N., Filippov E.G. Estimation of adaptability indicators of the spring barley varieties according to their productivity under environmental variability. *Zernovoe khoziaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 18–24. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-18-24.
13. Paramonov A.V., Fediushkin A.V., Tseluiko O.A. Meteorological effect on yield and quality of spring barley in Priazov zone in Rostov region. *Melioraziya i gidrotekhnika = Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 2020, no. 2 (38), pp. 151–162. (In Russian). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-151-162.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Дорошенко Е.С.**, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 347740, Ростовская область, г. Зеленоград, Научный городок, 3; e-mail: katyalevchenko1@mail.ru

Шишкин Н.В., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: nik.shishkin.1961@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ekaterina S. Doroshenko**, Junior Researcher; **address:** 3, Nauchny gorodok, Zelenograd, Rostov Region, 347740, Russia; e-mail: katyalevchenko1@mail.ru

Nikolay V. Shishkin, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; e-mail: nik.shishkin.1961@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.12.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 07.02.2023

Дата публикации / Published 20.03.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-8>
УДК: 619:576.89;619:616.995.1;616.9-085:636.5

Тип статьи: оригинальная
Type of article: original

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ И ПРОПАНДИОЛА НА КИШЕЧНИК У МЫШЕЙ ICR

Афонюшкин В.Н.^{1,2,3}, (✉) Козлова О.С.³, Черепушкина В.С.¹, Миронова Т.Е.^{1,3},
Козлова Ю.Н.³, Ян Ф.², Коптев В.Ю.¹, Донченко Н.А.^{1,3}, Леденева О.Ю.³

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

²Институт химической биологии и фундаментальной медицины
Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

(✉)e-mail: loi-2005@yandex.ru

Изучено влияние корректоров микробиоты кишечника на моторику желудочно-кишечного тракта мышей линии ICR. Использованы две кормовые добавки – композиции на основе глицерина и 1,3 пропандиола и Салколи Mono BP Dry. По принципу аналогов сформировано три группы по 10–12 гол. в каждой: две опытных и одна контрольная. Экспериментальные кормовые смеси изготавливали путем пропитывания 200 г корма подсолнечным маслом, 1,3 пропандиолом, глицерином (1-я опытная группа); кормовую смесь 2-й опытной дополнительно смешивали с кормовой добавкой Салколи Mono BP Dry. Для оценки скорости выведения фекалий мышам всех групп выпаивали флуоресцентные метки по 100 мкл (тушь флуоресцентная зеленая и красная), предварительно смешав их с водой 1 : 1. Оценивали сроки появления первых признаков флуоресценции в фекалиях у животных контрольной и опытных групп. Отмечена интенсивная флуоресценция зеленой метки при флуориметрии образцов. Наибольший прирост флуоресценции наблюдали к 4-му часу эксперимента в контрольной группе, во 2-й опытной прирост продолжался до 5-го часа. В 1-й опытной группе выведение основного количества зеленого красителя не началось даже к 5-му часу опыта. Методом с использованием флуоресцентных меток удалось выявить замедление перемешивания кормовых масс у мышей, получавших в составе корма глицерин и 1,3 пропандиол, что сопровождалось статистически значимым приростом концентрации *Escherichia coli*, – в 3 раза ($p < 0,05$). Использование препарата Салколи Mono BP Dry статистически значимо не влияло на концентрацию кишечной палочки и моторику желудочно-кишечного тракта.

Ключевые слова: *Escherichia coli*, моторика кишечника, кормовые добавки, масляная кислота, 1,3 пропандиол

STUDY OF THE EFFECTS OF BUTYRIC ACID AND PROPANEDIOL ON THE INTESTINE IN ICR MICE

Afonyushkin V.N.^{1,2,3}, (✉) Kozlova O.S.³, Cherepushkina V.S.¹, Mironova T.E.^{1,3},
Kozlova Yu.N.³, Yang F.², Koptev V.Yu.¹, Donchenko N.A.^{1,3}, Ledeneva O.Yu.³

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

²Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

³Novosibirsk State Agrarian University
Novosibirsk, Russia

(✉)e-mail: loi-2005@yandex.ru

The effect of gut microbiota correctors on the motility of the gastrointestinal tract of ICR mice was studied. Two feed additives were used - compositions based on glycerol and 1.3 propanediol and

Salkoli Mono BP Dry. Three groups of 10-12 animals each were formed according to the principle of analogues: two experimental and one control. Experimental feed mixtures were made by saturating 200 g of feed with sunflower oil, 1,3 propanediol, glycerol (experimental group 1); the feed mixture of experimental group 2 was additionally mixed with the feed additive Salkoli Mono BP Dry. To estimate the rate of fecal excretion, 100 µl of fluorescent tags (fluorescent ink green and red) were given to mice of all groups, previously mixed with water 1: 1. The timing of the appearance of the first signs of fluorescence in feces in animals of the control and experimental groups was estimated. Intensive fluorescence of the green label in fluorimetry samples was observed. The greatest increase in fluorescence was observed at the 4th hour of the experiment in the control group, while in the 2nd experimental group the increase lasted until the 5th hour. In the 1st experimental group, elimination of the main amount of green dye did not begin even by the 5th hour of the experiment. The method using fluorescent tags revealed a delay in mixing of feed masses in mice fed glycerol and 1,3 propanediol, which was accompanied by a statistically significant increase in *Escherichia coli* concentration - by 3 times ($p < 0.05$). The use of Salkoli Mono BP Dry had no statistically significant effect on *E. coli* concentrations and gastrointestinal motility.

Keywords: *Escherichia coli*, intestinal motility, feed additives, butyric acid, 1,3 propanediol

Для цитирования: Афониюшкин В.Н., Козлова О.С., Черепушкина В.С., Миронова Т.Е., Козлова Ю.Н., Ян Ф., Коптев В.Ю., Донченко Н.А., Леденева О.Ю. Изучение влияния масляной кислоты и пропандиола на кишечник у мышей ICR // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 64–70. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-8>

For citation: Afonyushkin V.N., Kozlova O.S., Cherepushkina V.S., Mironova T.E., Kozlova Yu.N., Yang F., Koptev V.Yu., Donchenko N.A., Ledeneva O.Yu. Study of the effects of butyric acid and propanediol of the intestine in ICR mice. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 64–70. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-8>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование поддержано в рамках государственного задания ИХБФМ СО РАН № 121031300043-8.

Acknowledgements

This work was supported by the Russian state-funded project for ICBFM SB RAS (grant number 121031300043-8).

ВВЕДЕНИЕ

К перспективным направлениям коррекции микробиоты кишечника относят использование про- и пребиотиков, а также синбиотиков – их сочетания, которое оказывают благоприятное воздействие на состояние здоровья индивидуума посредством влияния на собственные полезные для хозяина микробы¹ [1]. В качестве пробиотиков в настоящее время используют бактерии родов *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Pedio-*

coccus, *Streptococcus*, *Bacillus*, а также *Escherichia coli* и др.

Один из представителей семейства Lactobacillaceae – *Lactobacillus reuteri* – вызывает особый интерес² [2], поскольку является широко распространенным видом гетероферментативных молочнокислых бактерий [3, 4], а в ряде случаев и доминирующим компонентом нормальной микрофлоры кишечника человека и животных^{3,4} [5].

¹Guarner F., Ramakrishna B.S., Szajewska H., Sanders M.E., Shanahan F., Fedorak R. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines // *Journal of Clinical Gastroenterology*. 2012. N 46 (6). С. 468–481. DOI: 10.1097/mcg.0b013e3182549092.

²Zhang D., Li R., Li J. *Lactobacillus reuteri* ATCC 55730 and L22 display probiotic potential in vitro and protect against Salmonella-induced pullorum disease in a chick model of infection // *Research in Veterinary Science* [Internet]. 2012. N 93 (1). P. 366–373. DOI: 10.1016/j.rvsc.2011.06.020.

³Morita H., Toh H., Fukuda S., Horikawa H., Oshima K., Suzuki T., Murakami M., Hisamatsu S., Kato Y., Takizawa T., Fu-kuoka H., Yoshimura T., Itoh K., O'Sullivan D.J., McKay L.L., Ohno H., Kikuchi J., Masaoka T., Hattori M. Comparative genome analysis of *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus fermentum* reveal a genomic island for reuterin and cobalamin production // *DNA Research: An International Journal for Rapid Publication of Reports on Genes and Genomes*. 2008. N 15 (3). P. 151–161. DOI: 10.1093/dnares/dsn009.

⁴Schaefer L., Auchtung T.A., Hermans K.E., Whitehead D., Borhan B., Britton R.A. The antimicrobial compound reuterin (3-hydroxypropionaldehyde) induces oxidative stress via interaction with thiol groups // *Microbiology*. 2010. N 156 (6). P. 1589–1599. DOI: 10.1099/mic.0.035642-0.

L. reuteri активирует CD4⁺ Т-клетки и координирует другие иммунные клетки для регуляции иммунного ответа, стимулирует синтез IgA, подавляет адгезию бактерий и вирусов к эпителиальным клеткам и нейтрализует токсины, продуцируют уксусную кислоту, которая снижает pH *in vivo* и оказывает выраженное антибактериальное действие на многие патогены [2]. Кроме того, продуцирует бактериоцин реутерин (3-гидроксипропиональдегид, 3-НРА)⁵, – антимикробный компонент широкого спектра действия [6, 7], устойчивый к протеолитическим и липолитическим ферментам, изученный как пищевой консервант или вспомогательное терапевтическое средство.

Штаммы *L. reuteri* показали хороший потенциал для использования в качестве пробиотиков у человека и животных [8–10]. Для повышения эффективности пробиотиков, а также для активации имеющейся нормальной микрофлоры используют пребиотики (олигофруктоза, инулин, галакто-олигосахариды, лактулоза, олигосахариды грудного молока) (см. сноску 1). В случае *L. reuteri* в качестве пребиотиков может быть использовано введение экзогенных источников глицерина (см. сноску 5), поскольку в процессе метаболизма данный микроорганизм синтезирует активный реутерин в толстой кишке при наличии достаточного количества глицерина, который является продуктом микробиологического брожения, переваривания липидов в просвете кишки, отторжения слизи и десквамированных эпителиальных клеток. В качестве кофактора фермента, синтезирующего реутерин, а также ингибитора ферментов, принимающих участие в его деградации, например 1,3-пропандиол и его структурные аналоги, более устойчивые к разрушению или более эффективно связывающиеся с ферментом (см. сноску 5).

Другой перспективный механизм – использование соединений, переключающих метаболизм глицерина на синтез реутерина. Выявление таких соединений, а также их эф-

фективных комбинаций позволит в дальнейшем разработать новый эффективный пребиотический или синбиотический комплекс для нормализации кишечной микрофлоры и профилактики инфекционных заболеваний сельскохозяйственных птиц.

Цель исследования – изучить влияние корректоров микробиоты кишечника на моторику желудочно-кишечного тракта мышей линии ICR.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в секторе молекулярной биологии и лаборатории болезней молодняка сельскохозяйственных животных Института экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока СФНЦА РАН. Опыты на лабораторных животных проведены в соответствии с «Правилами работ с использованием экспериментальных животных».

Эксперимент выполнен на 22 лабораторных мышах линии ICR в возрасте 2 мес массой 60–65 г. По принципу аналогов сформированы три группы по 10–12 гол. в каждой: две опытных и одну контрольную. Животных содержали в клетках при температуре 22–25 °С и влажности воздуха 70–85% при световом режиме дня по 12 ч (день – ночь). Доступ к воде без ограничения. Для кормления мышей как опытных, так и контрольных, использовали стандартный комбикорм для мышей производства ИЦИГ СО РАН.

Экспериментальные кормовые смеси изготавливали путем пропитывания 200 г корма подсолнечным маслом, 1,3 пропандиолом, глицерином (1-я опытная группа); кормовую смесь 2-й опытной дополнительно смешивали с кормовой добавкой Салколи Mono BP Dry. Данная кормовая добавка основана на композиции органических кислот масляной и пропионовой кислот с глицерином и содержит в своем составе монобутират (13%), монопропионат (52%) и наполнитель кремнезем (до 100%). Предельно допустимые отклонения компонентов не превышают 10%. В состав Салколи Mono BP Dry не

⁵Афониюшкин В.Н., Филипенко М.Л., Ширишова А.Н., Маслов О.Г. Механизмы биологической активности системы *Lactobacillus reuteri* – реутерин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. № 4 (233). С. 70–75.

входят генно-инженерно-модифицированные продукты. Затем приготовленные кормовые смеси высушивали при комнатной температуре в течение 2 сут. Контрольная группа получала только стандартный комбикорм без добавок.

Каждой группе лабораторных животных ежедневно давали приготовленные корма объемом 200 г в течение 5 сут. На протяжении опыта производили сбор фекалий в каждой из исследуемых групп.

Для оценки скорости выведения фекалий (см. сноску 3) мышам всех групп выпаивали флуоресцентные метки по 100 мкл (тушь флуоресцентная зеленая и красная), предварительно смешав их с водой 1 : 1. Сначала выпаивали красную метку, через 1 ч – зеленую. Через 5 ч после выпаивания красной флуоресцентной метки мышей выводили из эксперимента.

Пробы фекалий с флуоресцентными метками, ресуспендированные в растворе гуанидина изотиоцианата 6М и тритона X100 1% в соотношении 1 : 5, от каждой из исследуемых групп в количестве 50 мкл помещали в 96-луночный микропланшет.

Флуоресценцию измеряли с помощью ПЦР амплификатора CFX (Bio-Rad) с использованием каналов FAM, HEX. Выделение ДНК из культур бактерий и проб кишечного содержимого проводили силико-сорбционным методом. Компьютерный подбор праймеров осуществляли с использованием программ «Beakon Designer», Vector NTI с последующей проверкой на гомологию с неспецифической ДНК в программе BLAST. Для оценки концентрации кишечной палочки и *L. reuteri* проводили ПЦР в режиме реального времени на реалтайм-амплификаторе «CFX» (BioRad Laboratories) и LightCycler (Roche)⁶.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли методами вариационной и непараметрической статистики (среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, ошибка средней).

Полученные зависимости описывали с использованием полиномиальной функции с помощью программы Microsoft Office Excel. Статистическую значимость различий оценивали по Вилкоксоу и Манну-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе экспериментов оценивали сроки появления первых признаков флуоресценции в фекалиях у животных контрольной и опытных групп. Отмечена интенсивная флуоресценция зеленой метки на канале FAM (см. рис. 1). Наибольший прирост флуоресценции наблюдали к 4-му часу эксперимента в контрольной группе, во 2-й опытной прирост продолжался до 5-го часа. В 1-й опытной группе выведение основного количества зеленого красителя не началось даже к 5-му часу опыта.

На канале Hex анализировали динамику выведения красной метки, которую ввели раньше на 1 ч. У мышей 1-й опытной группы процесс выведения метки растянулся до 5 ч эксперимента, снижение флуоресценции на канале Hex отмечали лишь к концу опыта. В контрольной группе и 2-й опытной к

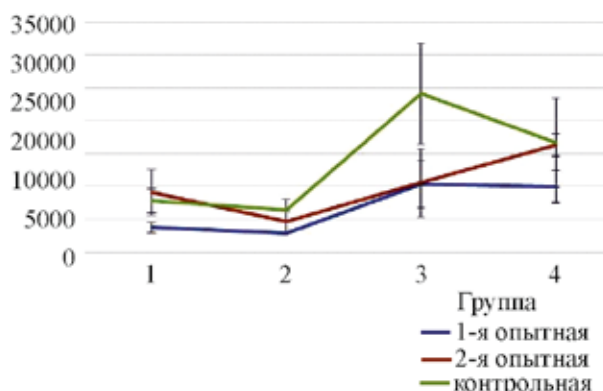


Рис. 1. Измерение флуоресценции при помощи ПЦР амплификатора CFX (Bio-Rad) с использованием канала FAM.

Продолжительность опыта: 1 – 2 ч; 2 – 3 ч; 3 – 4 ч; 4 – 5 ч

Fig. 1. Fluorescence measurement using a CFX PCR cycler (Bio-Rad) using the FAM channel. Duration of the experiment: 1 – 2 hours, 2 – 3 hours, 3 – 4 hours, 4 – 5 hours

⁶Черепушкина В.С. Разработка теста для определения представленности *L. reuteri* в кишечном содержимом человека и животных // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Н.Г. Власенко и др. Новосибирск, 2019. С. 250–253.

3 ч эксперимента большая часть метки вывелась, отмечено выведение остаточных количеств метки (см. рис. 2).

Из рис. 3 следует, что статистической значимости между концентрациями *Lactobacillus reuteri* в составе кишечной микробиоты в 1-й опытной группе и контрольной не выявлено; во 2-й опытной группе концентрация *L. reuteri* выше в 2,69 раза по сравнению с контролем.

На основании полученных результатов, представленных на рис. 1–2, можно сделать вывод, что для детекции флуоресцентных меток (тушь красная и зеленая) с использованием ПЦР амплификатора CFX (Bio-Rad) наиболее подходящие каналы FAM и HEX.

При проведении ПЦР исследования для обнаружения геномной ДНК *E. coli* получены следующие результаты: концентрация *E. coli* в составе кишечной микробиоты в 1-й опытной группе по сравнению с контрольной статистически значима, увеличилась в 3 раза ($p = 0,02$), во 2-й опытной – в 1,4 раза ($p = 0,35$). Высокая концентрация кишечной палочки у животных 1-й опытной группы свидетельствует о накоплении *E. coli*.

На основании трех критериев анализа динамики выведения кишечного содержимого можно утверждать, что смесь глицерина и

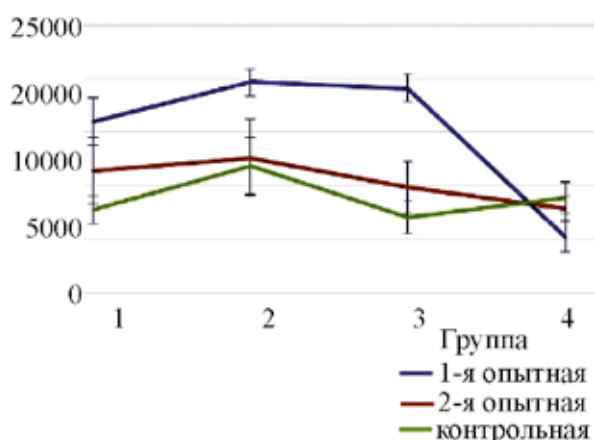


Рис. 2. Измерение флуоресценции при помощи ПЦР амплификатора CFX (Bio-Rad) с использованием канала HEX

Продолжительность опыта: 1 – 3 ч; 2 – 4 ч; 3 – 5 ч; 4 – 6 ч

Fig. 2. Fluorescence measurement with a CFX PCR cyciler (Bio-Rad) using the HEX channel
Duration of the experiment: 1 – 3 hours, 2 – 4 hours, 3 – 5 hours, 4 – 6 hours

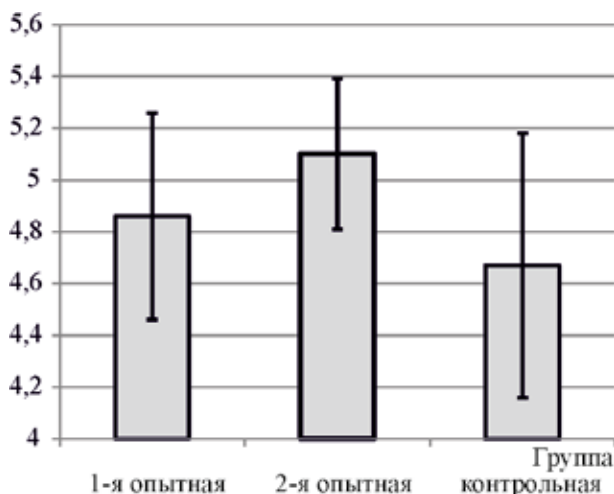


Рис. 3. Концентрации *L. reuteri* Log10 M±SD

Fig. 3. *L. reuteri* Log10 M±SD concentrations

1,3 пропандиола способна замедлять процесс выведения кишечного содержимого из организма. Это делает перспективным использование такой кормовой добавки для улучшения переваримости кормов и лечения расстройств пищеварения, сопровождающихся усилением скорости эвакуации кишечного содержимого.

При оценке концентрации кишечной палочки в исследованных группах установлено, что наибольшая ее концентрация отмечена в пробах фекалий 1-й опытной группы, выше, чем в контрольной, в 3 раза. Во 2-й опытной группе концентрация *E. coli* была в 1,4 раза выше, чем в контрольной, что может свидетельствовать о некоторой задержке передвижения содержимого по кишечнику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структура эксперимента позволяет оценить динамику перемешивания и выведения кормовых и кишечных масс под действием различного фармакологического влияния. Введение образцов флуоресцентной туши в кормовые массы позволило выявить замедление перемешивания кормовых масс у мышей, получавших в составе корма глицерин и 1,3 пропандиол, что сопровождалось статистически значимым приростом концентрации *E. coli* – в 3 раза ($p < 0,05$). Использование препарата Салколи Mono BP Dry не влияло на концентрацию кишечной палочки и моторику желудочно-кишечного тракта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kubota M., Ito K., Tomimoto K. *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 and Magnesium Oxide in Children with Functional Chronic Constipation: A Double-Blind and Randomized Clinical Trial // *Nutrients*. 2020. N 12 (1). P. 225. DOI: 10.3390/nu12010225.
2. Комарова О.Н. Эффективность применения *Lactobacillus reuteri* в клинической практике // *РМЖ. Мать и дитя*. 2021. № 4 (3). С. 277–283. DOI: 10.32364/2618-8430-2021-4-3-277-283.
3. Mota M.J., Lopes R.P., Sousa S., Gomes A.M., Delgadillo I., Saraiva J.A. *Lactobacillus reuteri* growth and fermentation under high pressure towards the production of 1,3-propanediol // *Food research international*. 2018. N 113. P. 424–432. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.07.034.
4. Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Бегунова А.В., Федорова Т.В., Ширишова Т.И. Разработка биотехнологии кисломолочного продукта с *Lactobacillus reuteri* LR1 и исследование его функциональных свойств в эксперименте *in vitro* и *in vivo* // *Вопросы питания*. 2018. № 87 (5). С. 52–62. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10053.
5. Афонюшкин В.Н., Хоменко Ю.С., Фролова О.А., Козлова Ю.Н., Сигарева Н.А. Анализ системы планирования противосальмонеллезных мероприятий на птицефабриках // *Птица и птицепродукты*. 2019. № 3. С. 20–23. DOI: 10.30975/2073-4999-2019-21-3-20-23.
6. Бегунова А.В., Рожкова И.В., Ширишова Т.И., Глазунова О.А., Федорова Т.В. Биосинтез антимикробных бактериоциноподобных соединений штаммов *Lactobacillus reuteri* LR1: оптимизация условий культивирования // *Биотехнология*. 2019. № 5 (35). С. 58–69. DOI: 10.21519/0234-2758-2019-35-5-58-69.
7. Захарова И.Н., Бережная И.В., Сугян Н.Г., Санникова Т.Н., Кучина А.Е., Сазанова Ю.О. Что мы знаем сегодня о *Lactobacillus reuteri*? // *Медицинский совет*. 2018. № 2. С. 163–169. DOI: 10.21518/2079-701X-2018-2-163-169.
8. Saviano A., Brigida M., Migneco A., Gunawardena G., Zanza C., Candelli M., Franceschi F., Ojetti V. *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 (*Limosilactobacillus reuteri*) in Diarrhea and Constipation: Two Sides of the Same Coin? // *Medicina*. 2021. N 57. DOI: 10.3390/medicina57070643.

9. Афонюшкин В.Н., Давыдова Н.В., Троменшлегер И.Н., Мишукова О.В., Козлова Ю.Н., Черепушкина В.С., Миронова Т.Е., Клемешова И.Ю. Зависимость уровня инфицированности сальмонеллами в популяциях кур от антагонистической активности *Lactobacillaceae* и *Enterococcaceae* в отношении *Salmonella enterica* // *Вестник НГАУ*. 2020. № 1. С. 48–55. DOI: 10.31677/2072-6724-2020-54-1-48-55.
10. Ong T.G., Gordon M., Banks S.S., Thomas M.R., Akobeng A.K. Probiotics to prevent infantile colic // *Cochrane Database Syst Rev*. 2019. N 133 (3). DOI: 10.1002/14651858.CD012473.pub2.

REFERENCES

1. Kubota M., Ito K., Tomimoto K. *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 and Magnesium Oxide in Children with Functional Chronic Constipation: A Double-Blind and Randomized Clinical Trial. *Nutrients*, 2020, no. 12 (1), pp. 225. DOI: 10.3390/nu12010225.
2. Komarova O.N. Effectiveness of *Lactobacillus reuteri* application in clinical practice. *RMZh. Mat' i ditya = Russian Medical Journal. Mother and Child*, 2021, no. 4 (3), pp. 277–283. (In Russian). DOI: 10.32364/2618-8430-2021-4-3-277-283.
3. Mota M.J., Lopes R.P., Sousa S., Gomes A.M., Delgadillo I., Saraiva J.A. *Lactobacillus reuteri* growth and fermentation under high pressure towards the production of 1,3-propanediol. *Food research international*, 2018, no. 113, pp. 424–432. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.07.034.
4. Semenikhina V.F., Rozhkova I.V., Begunova A.V., Fedorova T.V., Shirshova T.I. Development of biotechnology of fermented milk product with *Lactobacillus reuteri* LR1 and the evaluation of its functional property in experiment *in vitro* and *in vivo*. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*, 2018, no. 87 (5), pp. 52–62. (In Russian). DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10053.
5. Afonyushkin V.N., Khomenko Yu.S., Frolova O.A., Kozlova Yu.N., Sigareva N.A. The analysis of planning system for antisalmonella measures on a poultry plant. *Ptitsa i ptitseprodukty = Poultry and Chicken Products*, 2019, no. 3, pp. 20–23. (In Russian). DOI: 10.30975/2073-4999-2019-21-3-20-23.

6. Begunova A.V., Rozhkova I.V., Shirshova T.I., Glazunova O.A., Fedorova T.V. Optimization of conditions for *Lactobacillus reuteri* LR1 strain cultivation to improve the biosynthesis of bacteriocin-like substances. *Biotechnologia = Biotechnology in Russia*, 2019, no. 5 (35), pp. 58–69. (In Russian). DOI: 10.21519/0234-2758-2019-35-5-58-69.
7. Zakharova I.N., Berezhnaya I.V., Sugyan N.G., Sannikova T.N., Kuchina A.E., Sazanova Yu.O. What do we know today about *Lactobacillus reuteri*? *Meditsinskiy Sovet = Medical Council*, 2018, no. 2, pp. 163–169. (In Russian). DOI: 10.21518/2079-701X-2018-2-163-169.
8. Saviano A., Brigida M., Migneco A., Gunawardena G., Zanza C., Candelli M., Franceschi F., Ojetti V. *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 (*Limosilactobacillus reuteri*) in Diarrhea and Constipation: Two Sides of the Same Coin? *Medicina*, 2021, no. 57. DOI: 10.3390/medicina57070643.
9. Afonyushkin V.N., Davydova N.V., Tromenshleger I.N., Mishukova O.V., Kozlova Yu.N., Cherepushkina V.S., Mironova T.E., Klemeshova I.Yu. Salmonella infection level in chicken populations versus antagonistic activity of Lactobacillaceae and Enterococcaceae against *Salmonella enterica*. *Vestnik NSAU = Bulletin of NSAU*, 2020, no. 1, pp. 48–55. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2020-54-1-48-55.
10. Ong T.G., Gordon M., Banks S.S., Thomas M.R., Akobeng A.K. Probiotics to prevent infantile colic. *Cochrane Database Syst Rev*, 2019, no. 133 (3). DOI: 10.1002/14651858.CD012473.pub2.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Афонюшкин В.Н., кандидат биологических наук, заведующий сектором

✉ **Козлова О.С.**, старший преподаватель;
адрес для переписки: Россия, 630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: loi-2005@yandex.ru

Черепушкина В.С., младший научный сотрудник

Миронова Т.Е., младший научный сотрудник

Козлова Ю.Н., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник

Ян Фуди, аспирант

Коптев В.Ю., кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

Донченко Н.А., доктор ветеринарных наук, профессор, член-корреспондент РАН, руководитель ИЭВСиДВ

Леденева О.Ю., кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующая кафедрой

AUTHOR INFORMATION

Vasily N. Afonyushkin, Candidate of Science in Biology, Section Leader

✉ **Olga S. Kozlova**, Senior Lecturer; address: 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: loi-2005@yandex.ru

Victoria S. Cherepushkina, Junior Researcher

Tatyana E. Mironova, Junior Researcher

Yulia N. Kozlova, Candidate of Science in Biology, Junior Researcher

Fudi Yang, Postgraduate Student

Vyacheslav Yu. Koptev, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Lead Researcher

Nikolay A. Donchenko, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Professor, Corresponding Member RAS, Director IEVM&SFE

Olga Yu. Ledeneva, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Associate Professor, Department Head

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.11.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.01.2023

Дата публикации / Published 20.03.2023

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СПЕРМЫ БЫКОВ АЙРШИРСКОЙ ПОРОДЫ В СВЯЗИ С ГАПЛОТИПОМ ФЕРТИЛЬНОСТИ АН1

✉ Крутикова А.А., Позовникова М.В., Никиткина Е.В., Мусидрай А.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального научного центра животноводства – Всероссийского научно-исследовательского института животноводства имени академика Л.К. Эрнста
Санкт-Петербург, Россия

✉ e-mail: anntim2575@mail.ru

Представлены результаты исследований (2019–2021 гг.) увеличения частоты встречаемости генетических мутаций, таких как гаплотипы фертильности, в популяции, которые приводят к снижению уровня воспроизводства у молочного скота. Проведена оценка качества спермы быков айрширской породы по подвижности и морфологическим показателям в связи с rs475678587 в локусе гена *UBE3B*, ассоциированного с гаплотипом фертильности АН1. Образцы спермы ($n = 14$) получены из Центра коллективного пользования «Генетическая коллекция спермы крупного рогатого скота отечественных и зарубежных пород» ВНИИГРЖ и принадлежали животным 2014 года рождения и старше (средний возраст быков составил 6–15 лет). Генотипирование по rs475678587 гена *UBE3B* проводили методом секвенирования по Сенгеру. Животных с гетерозиготным генотипом СТ определяли как носителя гаплотипа АН1 (АН1-С), с гомозиготным генотипом СС – как свободное от гаплотипа АН1 (АН1-Ф). Оценку замороженно-оттаянной спермы проводили по следующим параметрам: общая и прогрессивная подвижность, процент нормальных сперматозоидов. Морфологические показатели качества спермы оценивали после дифференциального окрашивания клеточных элементов сперматозоидов коммерческим набором "Диахим-Дифф Квик" (научно-производственная фирма АБРИС+) в мазках спермы. Учитывали следующие показатели: акросомные нарушения, нарушения в области головки, хвоста и шейки сперматозоида. Данные по показателям нативной спермы (подвижность, концентрация), оцененные сразу после взятия, получены из архива технической службы племенного предприятия. Результаты исследований показали, что по физиологическим и морфологическим показателям сперма, полученная от быков-носителей гаплотипа АН1, достоверно не отличалась от аналогичных показателей у быков, свободных от мутации. По общей подвижности сперма быков-носителей гаплотипа фертильности почти на 2% отличалась более высоким показателем, чем у быков, свободных от гаплотипа. Можно отметить, что быки-носители гаплотипа фертильности в целом отличались хорошими показателями фертильности спермы.

Ключевые слова: айрширский скот, гаплотип фертильности АН1, однонуклеотидный полиморфизм гена, качество спермы, морфологические показатели качества спермы

SEMEN QUALITY ANALYSIS OF THE AIRSHIRE BULLS IN RELATION TO THE AH1 FERTILITY HAPLOTYPE

✉ Krutikova A.A., Pozovnikova M.V., Nikitkina E.V., Musidray A.A.

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding –
Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry*
Saint-Petersburg, Russia

✉ e-mail: anntim2575@mail.ru

The results of the studies (2019–2021) of increased incidence of genetic mutations, such as fertility haplotypes, in the population that result in lower reproductive rates in dairy cattle are presented. Semen quality of the Ayrshire breed bulls was evaluated for motility and morphological indices due to rs475678587 in the *UBE3B* gene locus associated with the AH1 fertility haplotype. Semen samples ($n = 14$) were obtained from the Center of Collective Use "Genetic Semen Collection of Domestic and Foreign Cattle Breeds" of the All-Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding (ARRIFAGB) and belonged to the animals born in 2014 and older (average age of

bulls was 6-15 years). Genotyping for rs475678587 of the *UBE3B* gene was performed by Sanger sequencing. Animals with the heterozygous CT genotype were defined as carriers of the AH1 haplotype (AH1-C), and those with the homozygous CC genotype were defined as free of the AH1 haplotype (AH1-F). Frozen-thawed semen was evaluated according to the following parameters: total and progressive motility, percentage of normal spermatozoa. Morphological indices of sperm quality were assessed after differential staining of cellular elements of spermatozoa using a commercial kit "Diakhim-Diff Quick" (ABRIS+ scientific and production company) in sperm smears. The following indicators were taken into account: acrosomal abnormalities, abnormalities in the head, tail, and neck of the spermatozoon. Data on the indicators of native semen (motility, concentration), obtained immediately after collection, were received from the archive of the technical service of the breeding enterprise. The results of the studies have shown that according to physiological and morphological indices the semen obtained from the bulls carrying the haplotype AN1 did not differ significantly from those of the bulls free of the mutation. In terms of total motility, the semen of the haplotype fertility carrier bulls was almost 2% higher than that of the haplotype free bulls. It can be noted that the haplotype carriers of fertility bulls were generally characterized by good sperm fertility indices.

Keywords: Ayrshire cattle; fertility haplotype AH1; single nucleotide polymorphism of a gene; sperm quality; morphological indicators of sperm quality

Для цитирования: Крутикова А.А., Позовникова М.В., Никиткина Е.В., Мусидрай А.А. Анализ качества спермы быков айрширской породы в связи с гаплотипом фертильности AH1 // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 71–78. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-9>

For citation: Krutikova A.A., Pozovnikova M.V., Nikitkina E.V., Musidray A.A. Semen quality analysis of the Airshire bulls in relation to the AH1 fertility haplotype. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 71–78. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 121052600352-3.

Acknowledgments

The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 121052600352-3.

ВВЕДЕНИЕ

Доля айрширской породы в России составляет 2,8% всего поголовья скота молочного и молочно-мясного направления продуктивности. Несмотря на малочисленность, айрширский скот занимает ведущее место в пятерке пород-лидеров России, так как отличается высокой молочной продуктивностью, продуктивным долголетием, хорошей конверсией корма, устойчивостью к инфекционным заболеваниям, в том числе к лейкозу. В рамках современной интенсивной селекции и широкого использования искусственного осеменения необходим строгий отбор быков-производителей как по генетическому потенциалу и уровню про-

дуктивности, так и по статусу животного в отношении носительства нежелательных генетических дефектов. Использование ограниченного числа быков с высокой племенной ценностью на большом поголовье коров будет способствовать распространению нежелательной мутации, если племенной бык окажется носителем. Направленность селекции на ускоренное совершенствование продуктивных и технологических качеств (удой, жир, форма вымени и сосков и т.д.) стала причиной снижения репродуктивной функции животных, связанной в том числе и с активным тиражированием в популяции неблагоприятных аллелей, оказывающих негативное влияние на формирование и функционирование репродуктивной системы

животных, которые происходят при участии целого комплекса генетических факторов. Более трети генов высших млекопитающих, участвующих в процессах эмбрионального развития, являются критически необходимыми [1]. Мутации в таких генах, ведущие к снижению или потере их функций, приводят к эмбриональной смертности или рождению нежизнеспособного потомства. Мутации в генах, детерминирующих развитие репродуктивной системы животных, зачастую приводят к снижению фертильности [2].

В 2014 г. T.A. Cooper et al. [3] впервые сообщили о новой генетической мутации у айрширского скота, снижающей уровень воспроизводства в популяции. Причинная область размером 713 kb оказалась локализована на 17 хромосоме КРС [4]. Затем, выявленный методом GWAS-анализа достоверно ассоциированный с признаком снижения репродуктивной функции полиморфный регион гена *UBE3B*, был определен как гаплотип АН1 [3]. Участок гена *UBE3B*, идентифицированный как значимый, был секвенирован, в результате чего выявлено несколько SNP, однако только однонуклеотидная замена C > T (rs475678587) оказалась казуальной и ассоциировалась со снижением фертильности скота айрширской породы. Установлено, что мутация rs475678587 в высокой степени связана с гаплотипом фертильности АН1. Тестирование 29 быков по rs475678587 показало, что 11 быков, которые были носителями rs475678587 мутации, также несут АН1, и 18 быков дикого типа не имели АН1 [4]. Мутация C > T (rs475678587) является аутомасимальной, рецессивной. В результате замены C > T в экзоне 23 гена *UBE3B* происходит нарушение в процессе сплайсинга при биосинтезе белка убиквитина, играющего роль в формировании организма в эмбриональном периоде. Исследователями выявлено, что SNP C > T (rs475678587) в гомозиготном состоянии является молекулярно-генетической детерминантой развития синдрома PIRM (ptosis, intellectual disability, retarded growth and mortality) у телят, что приводит

к гибели в раннем возрасте из-за развития летальных патологий [4]. Было описано негативное влияние гаплотипа фертильности АН1 на уровень воспроизводства из-за увеличения показателя мертворождения в стадах, что влечет за собой существенные экономические потери в хозяйствах [5]. Это подтверждалось и нашими предыдущими исследованиями [6].

В 2016 г. S. Attia et al. [7] высказали мнение, что гаплотип фертильности айрширского скота АН1 может быть ассоциирован не только со снижением фертильности коров, но и оказывать некоторое влияние на качество спермы быков, а именно приводить к нарушениям морфологии сперматозоидов. Аномалии сперматозоидов могут возникать в семенниках во время сперматогенеза (первичные) и в семенных каналах половых путей самца (вторичные). Фертильность быков менее изучена, чем у коров. Однако исследователями показана роль генетических факторов в плодовитости быков. Так, 15 показателей качества спермы голштинских быков имеют наследственный характер, а также выявлены генетические дефекты спермы¹.

Цель исследований – оценить качество спермы быков айрширской породы по подвижности и морфологическим показателям в связи с rs475678587 в локусе гена *UBE3B*, ассоциированного с гаплотипом фертильности АН1.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2019–2021 гг. Образцы спермы ($n = 14$) были получены из ЦКП «Генетическая коллекция спермы крупного рогатого скота отечественных и зарубежных пород» Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных (ВНИИГРЖ) и принадлежали животным 2014 года рождения и старше (средний возраст быков составил 6–15 лет). Образцы семени были криоконсервированы в пайетах и до проведения исследований хранились при температуре $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$

¹Chenoweth P.J. Genetic sperm defects. *Theriogenology*. 2005. Vol. 64. P. 457–468.

в жидком азоте. Данные по генотипам животных были получены в ходе наших предыдущих исследований [8]. Генотипирование по rs475678587 гена *UBE3B* проводили методом секвенирования по Сенгеру. Животных с гетерозиготным генотипом СТ определяли как носителя гаплотипа AH1 (AH1-C), а с гомозиготным генотипом CC – как свободное от гаплотипа AH1 (AH1-F). Дизайн праймеров для ПЦР и секвенирования проводился в программе BLAST NCBI². Для анализа использовали праймеры: F: AGCAGCGGTCATTCTGTGAG и R: CACTGTTGACCCCATTTCCG. Секвенирование по Сенгеру проводили на генетическом анализаторе Applied Biosystems 3500 Genetic Analyzer с помощью коммерческих Kit BigDye® Terminator v3.1 Sequencing Standard Kit (Applied Biosystems) согласно протоколу производителя. Выравнивание и обработка сиквенсов проведены с помощью программного обеспечения Mega-6³.

Оценку качества заморожено-оттаянной спермы быков ($n=14$) проводили после оттаивания при 37 °C в течение 1 мин [9]. Оценку физиологических показателей спермы проводили по следующим параметрам: общая и прогрессивная подвижность, процент нормальных сперматозоидов. Морфологические показатели качества спермы оценивали после дифференциального окрашивания клеточных элементов сперматозоидов коммерческим набором "Диахим-Дифф Квик" (НПФ АБРИС+) в мазках спермы. Определяли следующие показатели: акросомные нарушения, нарушения в области головки, хвоста и шейки сперматозоида. Визуализацию осуществляли на микроскопе BA410 («Motic China Group Co. Ltd.», Китай) при увеличении 1000 с иммерсионным маслом (для физиологических показателей) и при увеличении 400, помещая каплю спермы на предварительно нагретую (37 °C) камеру Маклера (для морфологических показателей). Результаты оценивали программой Аргус-САСА (Аргуссофт, Россия). Данные

по показателям нативной спермы (подвижность, концентрация), оцененные сразу после взятия, получены из архива технической службы племенного предприятия.

Статистический анализ проводили с помощью DELL STATISTICA (система программного обеспечения для анализа данных) Dell Inc версии 13 (2016, software.dell.com). ANOVA выполнен при уровне значимости $p < 0,05$ для определения различий в средних значениях переменных между анализируемыми группами. Сравнение качественных показателей спермы быков проводили с применением критерия Крускала-Уоллиса, поскольку данные не прошли тест на нормальность ввиду малочисленности групп.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования криоконсервированной спермы быков показали, что по всем оцениваемым физиологическим и морфологическим показателям сперма быков AH1-C имела более высокие показатели, чем у быков AH1-F (см. табл. 1). Так, по общей подвижности сперма быков AH1-C почти на 2% отличалась более высоким показателем, чем у AH1-F. Хотя не было получено достоверных различий между сравниваемыми группами, но можно отметить, что быки-носители гаплотипа фертильности в целом отличались хорошими показателями фертильности спермы.

Также проанализированы основные показатели нативной спермы анализируемых быков, полученные при оценке качества спермы сразу после взятия (см. табл. 2). По основным показателям качества нативной спермы существенных отличий между спермой быков-носителей и быков, свободных от мутации AH1, не отмечено.

По показателю активности сперма быков AH1-F обладала более высоким баллом, чем у быков AH1-C, разница составила 0,247 балла (3,0%). Нативная сперма быков AH1-F имела несколько более высокую концентрацию (на 0,041 млрд/мл), чем сперма быков AH1-C.

²<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

³https://www.megasoftware.net/web_help_10/index.htm#Citing_MEGA_Publications.htm

Табл. 1. Физиологические и морфологические показатели замороженно-оттаянной спермы быков в соответствии со статусом по гаплотипу АН1 (различия не были значительными)

Table 1. Physiological and morphological parameters of frozen-thawed semen of the bulls in accordance with the status of the АН1haplotype (the differences were not significant)

Показатель, %	Статус быка		p-value
	АН1-С (n = 5)	АН1-F (n = 9)	
Общая подвижность	64,000 ± 4,301	62,333 ± 2,920	0,686
Прогрессивная подвижность	52,600 ± 3,709	52,222 ± 3,239	0,892
Количество нормальных спермиев	87,044 ± 1,732	81,597 ± 2,096	0,095
Отсутствие акросом	0,917 ± 0,399	1,512 ± 0,399	0,504
Набухшие акросомы	2,379 ± 0,780	2,916 ± 0,717	0,841
Сморщенные акросомы	7,969 ± 0,965	11,543 ± 1,927	0,317
Нарушения хвоста и шейки	1,066 ± 0,410	1,664 ± 0,331	0,181
Нарушения головки	0,485 ± 0,359	0,761 ± 0,312	0,657

Примечание. Здесь и в табл. 2. АН1-С – носитель гаплотипа фертильности АН1; АН1-F – не носитель гаплотипа фертильности АН1.

Гаплотип фертильности АН1 является наиболее распространенным рецессивным гаплотипом в айрширской породе скота. Так, частота его встречаемости составила 17,1% у айрширского скота Финляндии и 26,1% у айрширского скота США [4]. В исследованной нами российской выборке быков айрширской породы (n = 186) доля носителей гаплотипа фертильности АН1 была 16,66%, а анализ доли носителей нежелательного гаплотипа в зависимости от места рождения быка-производителя показал, что наибольшая частота (26,66%) отмечена у быков канадского происхождения [6]. Такой высокий уровень частоты возникновения этой мутации наблюдают с середины 70-х годов XX в. В России в настоящее время идентификация гаплотипа фертильности АН1 осуществляется методом ПЦР с аллель специфичными

праймерами, а также с помощью полногеномного скрининга с использованием SNP-чипов и методом секвенирования. Число носителей в среднем по породе в России составляет около 16,5% [10]. Распространение гаплотипа фертильности АН1 связано с использованием небольшого числа быков-производителей и высоким уровнем инбридинга на фоне небольшой численности популяции [11, 12].

Достаточно часто мутации, вызывающие снижение уровня воспроизводства в стадах, могут быть причиной нарушения морфологии сперматозоидов и соответственно низкой фертильности быков-носителей. Быки, имеющие сперму с высоким процентом морфологических нарушений, снижают показатели воспроизводства в стаде. Мутации, приводящие к снижению фертильности, за-

Табл. 2. Показатели качества нативной спермы быков в соответствии со статусом по гаплотипу АН1 (различия не были значительными)

Table 2. Indicators of the quality of native bull sperm in accordance with the status of the haplotype АН1(the differences were not significant)

Показатель	Статус быка		p-value
	АН1-С (n = 5)	АН1-F (n = 9)	
Подвижность, балл	8,133 ± 0,047	8,380 ± 0,162	0,088
Концентрация, млрд/мл	1,169 ± 0,076	1,210 ± 0,160	0,870

частую связаны с нарушением репродуктивной функции именно быков, а не коров – в частности с нарушением морфологии сперматозоидов [13]. Доказано, что количество нормальных сперматозоидов в эякуляте имеет положительную корреляцию с частотой отелов, таким образом, доля сперматозоидов с нормальной морфологией в эякуляте связана с показателями фертильности быка [8, 13]. Быки, сперма которых имеет более высокое содержание сперматозоидов с нарушениями морфологии, имеют пониженный уровень фертильности. Однако результаты наших исследований показали, что по физиологическим и морфологическим показателям качества нативной и замороженно-оттаянной спермы быки-носители гаплотипа AH1 существенно не отличались от аналогичных показателей у быков, свободных от мутации, а по таким показателям, как общая подвижность, прогрессивная подвижность и процент нормальных сперматозоидов, даже превышали их. Таким образом, полученные нами результаты оказались противоположными утверждению S. Attia et al. [7], что гаплотип фертильности айрширского скота AH1 приводит к патологическим изменениям в морфологии сперматозоидов. Исследования влияния носительства различных генетических дефектов как на продуктивность, так и на качество спермы, проводимые на других породах, показали, что, например, гетерозиготы (носители) по мутации DUMPS имеют значительно более высокий генетический потенциал молочной продуктивности, а качественные показатели спермы голштинских быков не изменяются в зависимости от статуса по HCD [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие в геноме быков-производителей мутации rs475678587, расположенной в локусе экзона 23 гена *UBE3B*, определяемой как маркерная мутация гаплотипа фертильности AH1, по нашим данным не влияет на снижение физиологических и морфологических показателей качества как нативной, так и замороженно-оттаянной спермы. Большинство рассмотренных в данной работе

биологических и изученных ранее экономических [6] показателей были лучшими у быков-носителей гаплотипа AH1 по сравнению с быками, свободными от мутации. Таким образом, предположение, высказанное S. Attia et al. в 2016 г. о том, что гаплотип фертильности айрширского скота AH1 может быть ассоциирован со снижением качества спермы быков, а именно приводит к нарушениям морфологии сперматозоидов, не соответствует полученным нами результатам, которые оказались противоположными. Представленные в данной работе исследования имеют практическую значимость, поскольку полученные результаты можно широко использовать в селекционно-племенной работе с айрширской породой скота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen W.-H., Lu G., Chen X., Zhao X.-M., Bork P. OGEE v2: an update of the online gene essentiality database with special focus on differentially essential genes in human cancer cell lines // *Nucleic Acids Research*. 2017. Vol. 45. P. D940–D944. DOI: 10.1093/nar/gkw1013.
2. Taylor J.F., Schnabel R.D., Sutovsky P. Review: Genomics of bull fertility. *Animal* // The Animal Consortium. 2018. P. 1–12. DOI: 10.1017/S1751731118000599.
3. Cooper T.A., Wiggans G.R., Null D.J., Hutchinson J.L., Cole J.B. Genomic evaluation, breed identification, and discovery of a haplotype affecting fertility for Ayrshire dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2014. Vol. 97 (6). P. 3878–3882. DOI: 10.3168/jds.2013-7427.
4. Venhoranta H., Pausch H., Flisikowski K., Wurmser C., Taponen J., Rautala H., Kind A., Schnieke A., Fries R., Lohi H., Andersson M. In frame exon skipping in *UBE3B* is associated with developmental disorders and increased mortality in cattle // *BMC Genomics*, 2014. Vol. 15. P. 890–898. DOI:10.1186/1471-2164-15-890.
5. Cole J.B., Null D.J., Van Raden P.M. Phenotypic and genetic effects of recessive haplotypes on yield, longevity and fertility // *Journal of Dairy science*. 2016. Vol. 99. P. 7274–7288. DOI: 10.3168/jds.2015-10777.
6. Pozovnikova M., Tulinova O., Krutikova A., Mitrofanova O., Dementieva N. Monitoring and significance of the recessive genetic de-

- fect AH1 of Ayrshire cattle // *Czech Journal of Animal Science*, 2020. Vol. 65. P. 323–329. DOI: 10.17221/110/2020-CJAS/.
7. Attia S., Katila T., Andersson M. The Effect of Sperm Morphology and Sire Fertility on Calving Rate of Finnish Ayrshire AI Bulls // *Reproduction in Domestic Animals*. 2016. Vol. 51. Is. 1. DOI: 10.1111/rda.12645.
 8. Никиткина Е.В., Мусидрай А.А., Кудинов А.А., Крутикова А.А., Деметьева Н.В. Поиск геномных ассоциаций с качеством спермы быков голштинской и черно-пестрой породы // *Генетика и разведение животных*. 2019. № 4. С. 9–13.
 9. Nikitkina E., Krutikova A., Musidray A., Pletmyashov K. Search for associations of FSHR, INHA, INHAB, PRL, TNP2 and SPEF2 genes polymorphisms with semen quality in Russian Holstein bulls (pilot study) // *Animals*. 2021. Vol. 11. N 10. P. 2882.
 10. Gladyr' E.A., Ternovskaya O.A., Kostyuniina O.V. Screening of AH1 fertility haplotype in the Ayrshire cattle breed in the Central and Northwestern Regions of Russia // *Agricultural and Livestock Technology*. 2018. Vol. 1. N 4. DOI: 10.15838/alt.2018.1.4.1.
 11. Melka M.G., Stachowicz K., Miglior F., Schenkel F.S. Analyses of genetic diversity in five Canadian dairy breeds using pedigree data // *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2013. Vol. 130. P. 476–486. DOI: 10.1111/jbg.12050.
 12. Guarini A.R., Sargolzaei M., Brito L.F., Kroezen V., Lourenco D.A.L., Baes C.F., Schenkel F.S. Estimating the effect of the deleterious recessive haplotypes AH1 and AH2 on reproduction performance of Ayrshire cattle // *Journal of Dairy science*, (2019). Vol. 102(6). P. 5315–5322. DOI: 10.3168/jds.2018-15366.
 13. Nagy S., Johannisson A., Wahlsten T., Ijäs R., Andersson M., Rodriguez-Martinez H. Sperm chromatin structure and sperm morphology: their association with fertility in AI-dairy Ayrshire sires // *Theriogenology*. 2013. Vol. 79. P. 1153–1161.
 14. Saleem S., Heuer C., Sun C., Kendall D., Moreno J., Vishwanath R. The role of circulating low-density lipoprotein levels as a phenotypic marker for Holstein cholesterol deficiency in dairy cattle // *Journal of Dairy science*. 2016. Vol. 99 (7). P. 5545–5550. DOI: 10.3168/jds.2015-10805.

REFERENCES

1. Chen W.-H., Lu G., Chen X., Zhao X.-M., Bork P. OGEE v2: an update of the online gene essentiality database with special focus on differentially essential genes in human cancer cell lines. *Nucleic Acids Research*, 2017, vol. 45, pp. D940–D944. DOI: 10.1093/nar/gkw1013.
2. Taylor J.F., Schnabel R.D., Sutovsky P. Review: Genomics of bull fertility. *Animal. The Animal Consortium*, 2018, pp. 1–12. DOI: 10.1017/S1751731118000599.
3. Cooper T.A., Wiggans G.R., Null D.J., Hutchison J.L., Cole J.B. Genomic evaluation, breed identification, and discovery of a haplotype affecting fertility for Ayrshire dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 2014, vol. 97 (6), pp. 3878–3882. DOI: 10.3168/jds.2013-7427.
4. Venhoranta H., Pausch H., Flisikowski K., Wurmser C., Taponen J., Rautala H., Kind A., Schnieke A., Fries R., Lohi H., Andersson M. In frame exon skipping in UBE3B is associated with developmental disorders and increased mortality in cattle. *BMC Genomics*, 2014, vol. 15, pp. 890–898. DOI: 10.1186/1471-2164-15-890.
5. Cole J.B., Null D.J., Van Raden P.M. Phenotypic and genetic effects of recessive haplotypes on yield, longevity and fertility. *Journal of Dairy science*, 2016, vol. 99, pp. 7274–7288. DOI: 10.3168/jds.2015-10777.
6. Pozovnikova M., Tulinova O., Krutikova A., Mitrofanova O., Dementieva N. Monitoring and significance of the recessive genetic defect AH1 of Ayrshire cattle. *Czech Journal of Animal Science*, 2020, vol. 65, pp. 323–329, DOI: 10.17221/110/2020-CJAS.
7. Attia S., Katila T., Andersson M. The Effect of Sperm Morphology and Sire Fertility on Calving Rate of Finnish Ayrshire AI Bulls. *Reproduction in Domestic Animals*, 2016, vol. 51, is.1. DOI: 10.1111/rda.12645.
8. Nikitkina E.V., Musidray A.A., Kudinov A.A., Krutikova A.A., Dementeva N.V. Search for genomic associations with sperm quality of Holstein and Black and White bulls. *Genetika i razvedenie zhivotnikh=Animal Genetics and Breeding*, 2019, no. 4, pp. 9–13. (In Russian).
9. Nikitkina E., Krutikova A., Musidray A., Pletmyashov K. Search for associations of FSHR, INHA, INHAB, PRL, TNP2 and SPEF2 genes polymorphisms with semen quality in Russian Holstein bulls (pilot study). *Animals*, 2021, vol. 11, no. 10, p. 2882

10. Gladyr' E.A., Ternovskaya O.A., Kostyuni-na O.V. Screening of AH1 fertility haplotype in the Ayrshire cattle breed in the Central and Northwestern Regions of Russia. *Agricultural and Livestock Technology*, 2018, vol. 1. no. 4. DOI: 10.15838/alt.2018.1.4.1.
11. Melka M.G., Stachowicz K., Miglior F., Schenkel F.S. Analyses of genetic diversity in five Canadian dairy breeds using pedigree data. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2013, vol. 130, pp. 476–486. DOI: 10.1111/jbg.12050.
12. Guarini A.R., Sargolzaei M., Brito L.F., Kroezen V., Lourenco D.A.L., Baes C.F., Schenkel F.S. Estimating the effect of the deleterious recessive haplotypes AH1 and AH2 on reproduction performance of Ayrshire cattle. *Journal of Dairy science*, 2019, vol. 102 (6), pp. 5315–5322. DOI: 10.3168/jds.2018-15366.
13. Nagy S., Johannisson A., Wahlsten T., Ijäs R., Andersson M., Rodriguez-Martinez H. Sperm chromatin structure and sperm morphology: their association with fertility in AI-dairy Ayrshire sires. *Theriogenology*, 2013, vol. 79, pp. 1153–1161.
14. Saleem S., Heuer C., Sun C., Kendall D., Moreno J., Vishwanath R. The role of circulating low-density lipoprotein levels as a phenotypic marker for Holstein cholesterol deficiency in dairy cattle. *Journal of Dairy science*, 2016, vol. 99 (7), pp. 5545–5550. DOI: 10.3168/jds.2015-10805.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Крутикова А.А.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 196625, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Московское шоссе, 55а; e-mail: anntim2575@mail.ru

Позовникова М.В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Никиткина Е.В., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Мусидрай А.А., кандидат биологических наук, младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Anna A. Krutikova**, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** 55a, Moskovskoe shosse, Tyarlevo, Saint-Petersburg, 196625, Russia; e-mail: anntim2575@mail.ru

Marina V. Pozovnikova, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Elena V. Nikitkina, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher

Artem A. Musidray, Candidate of Science in Biology, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 22.08.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 27.10.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА НА КАЧЕСТВО МОЛОКА КОЗ

✉ **Функ И.А., Дорофеев Р.В.**

Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий

Барнаул, Россия

✉ e-mail: funk.irishka@mail.ru

Изучено влияние экспериментального пробиотического препарата «Плантарум» на физико-химические и микробиологические показатели молока помесных коз молочного направления продуктивности. Данный препарат разработан в лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов Сибирского научно-исследовательского института сыроделия Федерального Алтайского научного центра агrobiотехнологий. В состав препарата включены чистые культуры пробиотических штаммов лакто- и пропионовокислых бактерий из «Сибирской коллекции микроорганизмов». Научно-хозяйственный опыт проведен в 2018–2020 гг. на территории Первомайского района Алтайского края. В качестве объектов исследования выступали помесные козы молочного направления продуктивности. С целью оценки влияния экспериментального пробиотического препарата «Плантарум» на качественные показатели молока подопытных животных методом групп аналогов были сформированы четыре группы (по 20 гол. в каждой) сукозных коз: одна контрольная и три опытных. Козам опытных групп дополнительно с основным рационом скармливали пробиотический препарат «Плантарум» в дозах 0,4; 0,6 и 0,8 мл/кг массы тела в сутки. Результаты исследований показали, что содержание массовой доли жира и белка в образцах молока всех подопытных групп находилось в пределах нормы для данного вида животных, регламентируемой ГОСТ 32940–2014. Необходимо отметить, что использование разных доз пробиотика позволило увеличить массовую долю жира в молоке за одну лактацию от 0,06 до 0,13 абс.% и массовую долю белка на 0,12 абс.% относительно контроля. Физико-химические показатели (сухой обезжиренный молочный остаток, титруемая кислотность, соматические клетки) молока подопытных коз находились в пределах нормы; существенные различия по группам не установлены. При определении количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов выявлена тенденция к снижению бактериальной контаминации молока в опытных группах по сравнению с контролем.

Ключевые слова: козье молоко, пробиотик, физико-химические показатели, микробиологические показатели

EFFECT OF PROBIOTIC PREPARATION ON GOAT MILK QUALITY

✉ **Funk I.A., Dorofeev R.V.**

Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology

Barnaul, Russia

✉ e-mail: funk.irishka@mail.ru

The effect of the experimental probiotic drug "Plantarum" on the physico-chemical and microbiological parameters of milk of crossbred dairy goats was studied. This preparation was developed in the laboratory of microbiology of milk and dairy products of the Siberian Research Institute of Cheese Making of the Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology. The preparation includes pure cultures of probiotic strains of lacto- and propionic acid bacteria from the "Siberian collection of microorganisms". Scientific and economic experiment was conducted in 2018–2020 on the territory of the Pervomaisky district of the Altai Territory. The objects of the study were crossbred dairy goats. In order to evaluate the effect of the experimental probiotic drug "Plantarum" on the milk quality of the experimental animals, four groups (20 animals in each group) of pregnant goats were formed: one control and three experimental. The goats of the experimental groups were fed the probiotic drug "Plantarum" in addition to the basic diet at the doses of 0.4, 0.6, and 0.8 ml/kg of body weight/day. The results showed that the content of the mass fraction of fat and protein in the milk samples of all experimental groups were within the norm for this type of animals regulated by GOST 32940-2014. It should be noted that the use of

different doses of probiotic increased the fat mass fraction in milk from 0.06 to 0.13% and the protein mass fraction by 0.12% relative to the control. Physicochemical parameters (dry skimmed milk residue, titratable acidity, somatic cells) of milk of the experimental goats were within normal limits; no significant differences between the groups were found. There was a tendency to reduce the bacterial contamination of milk in the experimental groups compared to the control when determining the number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms.

Keywords: goat milk, probiotic, physical and chemical parameters, microbiological parameters

Для цитирования: Функ И.А., Дорофеев Р.В. Влияние пробиотического препарата на качество молока коз // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 79–84. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-10>

For citation: Funk I.A., Dorofeev R.V. Effect of probiotic preparation on goat milk quality. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 79–84. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-10>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большую популярность получает принцип здорового питания, что обуславливает увеличение интереса потребителей к козьему молоку за счет его диетических и лечебно-профилактических свойств. Козье молоко и продукты на его основе могут широко применяться в питании населения всех возрастных категорий, в том числе пожилых людей и детей [1–3].

Молочное козоводство составляет незначительную долю в животноводстве в целом, однако рост потребительского спроса стимулирует дальнейшее развитие данной отрасли. Для успешного развития молочного козоводства необходимы не только реализация генетического потенциала животных, но и их сбалансированное и рациональное кормление. Перспективным направлением в этой области является использование безопасных и экологически чистых биологически активных препаратов, в частности про-

биотиков¹ [4–7]. В состав пробиотиков входят представители нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта животных, которые способствуют оптимизации пищеварения, лучшему усвоению питательных веществ и положительной динамике в сфере продуктивности^{2,3} [8].

Главная продукция молочного козоводства – молоко. Поэтому при оценке молочной продуктивности коз важно учитывать и количество, и качество молока, так как изменение молочной продуктивности (увеличение, снижение) может положительно либо отрицательно сказаться на качестве получаемого молока. Качество молока характеризуется физико-химическими и микробиологическими показателями, определяющими его биологическую полноценность^{4,5} [9, 10]. В связи с этим анализ степени влияния пробиотических препаратов на качество молока коз молочного направления продуктивности весьма актуален, имеет теоретическую и практическую значимость.

¹Панин А.Н., Малик А.Н. Пробиотики – неотъемлемый компонент рационального кормления животных // Ветеринария. 2006. № 6. С. 3–6.

²Fuller R. Probiotics in man and animals // Applied bacteriology. 1989. Vol. 66 (5). P. 365–378.

³Смирнов В.В., Коваленко Н.К., Подгорских Н.К. Пробиотики на основе живых культур микроорганизмов // Микробиологический журнал. 2002. Т. 64. № 4. С. 62–78.

⁴Протасова Д.Г. Свойства козьего молока // Молочная промышленность. 2001. № 8. С. 25–26.

⁵Симоненко С.В. Физико-химические и микробиологические показатели качества молока коз // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 6. С. 55–57.

Цель исследования – изучить влияние экспериментального пробиотического препарата «Плантарум» на качество молока помесных коз молочного направления продуктивности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Чтобы оценить воздействие препарата «Плантарум», разработанного Сибирским научно-исследовательским институтом сыроделия (СибНИИС), на качество молока помесных коз молочного направления продуктивности, были сформированы четыре группы (по 20 гол. в каждой) сукозных коз: одна контрольная и три опытных. Животным опытных групп в дополнение к основному рациону вводили пробиотический препарат в дозах 0,4; 0,6 и 0,8 мл/кг массы тела в сутки. Пробиотик скармливали в период с 3-го по 4-й месяц сукозности в течение 28 дней. Физико-химические и микробиологические показатели молока коз подопытных групп определяли по общепринятым методикам на базе СибНИИС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для эффективного действия пробиотических препаратов в их состав необходимо включать штаммы микроорганизмов, относимых к нормальной микрофлоре желудочно-кишечного тракта животных и устойчивых к агрессивным условиям внутренней

среды [6]. Пробиотический препарат «Плантарум» создан специалистами лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов СибНИИС. В него включены чистые культуры лактобактерий (*Lactobacillus* spp.) и многоштаммовая культура пропионовокислых бактерий (*Propionibacterium* spp.). Пробиотические культуры, входящие в «Сибирскую коллекцию микроорганизмов» (СКМ) Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий, подбирали по технологически ценным свойствам: количество пробиотической микрофлоры, антагонистическая активность, активная кислотность и т.д. Содержание пробиотической микрофлоры в препарате «Плантарум» сохранялось на терапевтически значимом уровне в течение 60 сут (1×10^6 КОЕ/см³).

При оценке молочной продуктивности коз важными показателями качества молока являются массовая доля жира и массовая доля белка. Результаты влияния пробиотического препарата «Плантарум» на качество молока коз представлены на рис. 1 и 2.

В ходе исследования было установлено (см. рис. 1), что массовая доля жира во всех опытных группах находилась в пределах нормы, регламентируемой ГОСТ 32940–2014 (не менее 3,2%). Содержание жира за период лактации (10 мес) составило в 1-й группе $4,03 \pm 0,10\%$, во 2-й – $4,00 \pm 0,08$, в 3-й – $4,09 \pm 0,24$, в 4-й – $4,16 \pm 0,22\%$. При

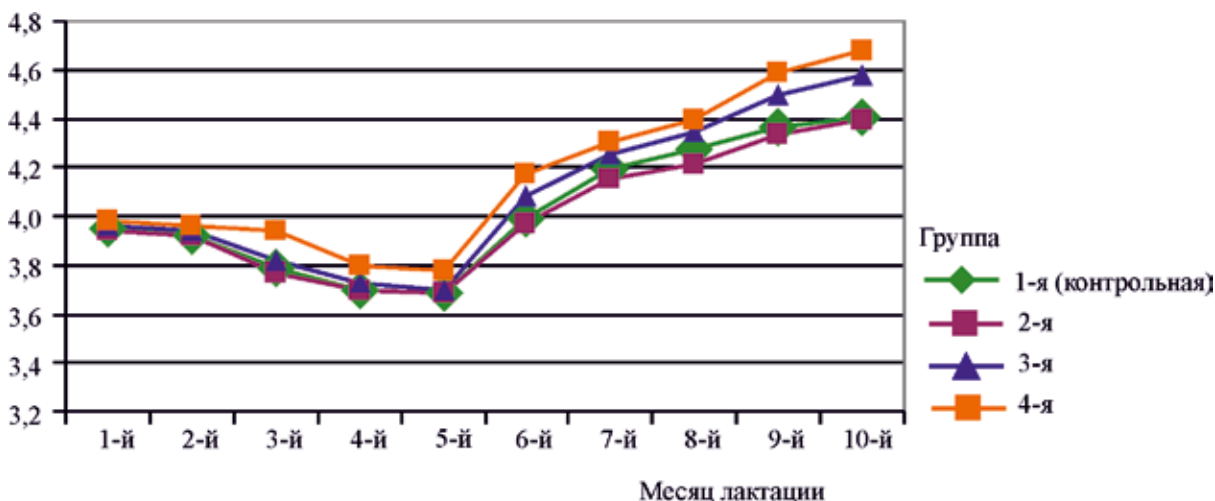


Рис. 1. Содержание жира в молоке в среднем по месяцам лактации, %

Fig. 1. Fat content in goat milk on average for lactation months, %

этом в 3-й и 4-й опытных группах данный показатель был больше, чем в контрольной группе, на 0,06 и 0,13 абс.% соответственно.

Необходимо отметить, что молоко от коз 3-й и 4-й групп по содержанию молочного жира превосходило молоко от животных контрольной группы по всем месяцам лактации. Так, разница между 3-й и 1-й подопытными группами составляла от 0,01 до 0,17 абс.%, между 4-й и 1-й – от 0,03 до 0,27 абс.%. Результаты исследований показывают, что с 1-го по 5-й месяц лактации происходило снижение массовой доли жира в молоке коз всех подопытных групп (см. рис. 1). Это обусловлено закономерным увеличением среднесуточных удоев. В дальнейшем (с 6-го месяца) фиксировалось плавное повышение количества жира в молоке, причем своего максимума оно достигало на 10-м месяце лактации. Несмотря на то, что во всех опытных группах прослеживается обратная зависимость между среднесуточным удоем и массовой долей жира (при увеличении среднесуточного удоя снижается массовая доля жира), следует подчеркнуть, что рост молочной продуктивности в опытных группах не повлиял на процентное содержание жира в молоке.

Содержание белка (см. рис. 2) во всех опытных группах также находилось в пределах нормы для данного вида животных (не менее 2,8%). Массовая доля белка за лактацию варьировала в пределах от $3,57 \pm$

0,11 до $3,72 \pm 0,22\%$. Животные 2-й и 3-й групп по содержанию белка в молоке уступали аналогам контрольной группы на 0,03 и 0,02 абс.% соответственно, а козы 4-й группы опережали контрольную группу на 0,12 абс.%.

Такие физико-химические показатели молока-сырья, как СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток), титруемая кислотность и соматические клетки, находились в пределах нормы; существенные различия по группам не установлены. Микробиологический показатель КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов) в четырех образцах молока подопытных групп помесных коз зааненской породы также был в пределах нормы (5×10^5 КОЕ/см³). Однако наблюдалась тенденция к снижению бактериальной контаминации молока в опытных группах по сравнению с контролем. Наименьшая бактериальная обсемененность определена в образце от коз 4-й группы (5×10^3 КОЕ/см³), где в рацион животных была введена максимальная доза пробиотика (0,8 мл/кг массы тела в сутки). Можно предположить, что снижение бактериальной контаминации молока обусловлено антагонистической активностью пробиотических микроорганизмов, входящих в состав препарата «Плантарум», в отношении санитарно-показательной микрофлоры (бактерии группы кишечной палочки, КМАФАнМ).

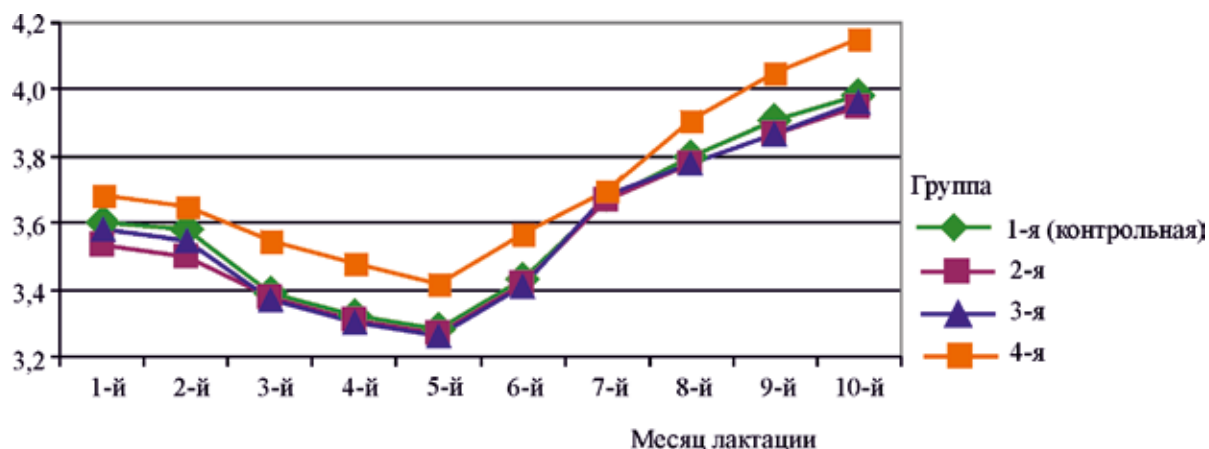


Рис. 2. Содержание белка в молоке-сырье в среднем по месяцам лактации, %

Fig. 2. The content of protein in the raw milk of goats on average for the months of lactation, %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные в ходе проведения опыта результаты свидетельствуют о положительном влиянии экспериментального пробиотического препарата «Плантарум» на качественные показатели молока помесных коз молочного направления продуктивности, что отражается в увеличении массовой доли жира за период лактации от 0,06 до 0,13 абс.% и массовой доли белка на 0,12 абс.%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баязитова К.Н., Такенова Д.Е., Шамекешева К.Г., Умарова А.К. Козье молоко как диетический продукт питания // Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук. 2018. № 1. С. 26–28.
2. Косимов М.А., Абдурахманов М.М. Значение молочного козоводства и перспективы его развития в домохозяйствах // Доклады Таджикской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 1 (43). С. 43–46.
3. Кожанов Т. Молочное козоводство в России: успехи в селекции и переработке // Молочная промышленность. 2017. № 1 (60). С. 42–44.
4. Буюров В.С., Мальцева М.А., Алдобаева Н.А. Научно-практическое обоснование применения пробиотиков в молочном скотоводстве и мясном птицеводстве // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 2 (23). С. 79–86.
5. Забелина М.В., Белова М.В., Карпова А.М. Этологические основы повышения качества молока и продуктивности лактирующих коз // Сурский вестник. 2018. № 3 (3). С. 12–16.
6. Соколенко Г.Г., Лазарев Б.П., Миньченко С.В. Пробиотики в рациональном кормлении животных // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2015. № 1. С. 72–77.
7. Казарян Р.В., Бородихин А.С., Лукьяненко М.В., Ачмиз А.Д., Матвиенко А.Н. Перспективные направления применения пробиотиков для создания полифункциональных кормовых добавок // Новые технологии. 2018. № 2. С. 116–121.

8. Миленьева И.С., Козлова О.В., Еремеева Н.И. Исследование пробиотических свойств бактерий рода *Propionibacterium* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2021. Т. 9. № 2. С. 83–92. DOI: 10.14529/food210209.
9. Шуварилов А.С., Алешина М.Н., Пастух О.Н. Молочная продуктивность и качество молока коз зааненской породы разных популяций // Овцы, козы, шерстяное дело. 2013. № 1. С. 30–32.
10. Щетинина Е.М., Ходырева З.Р. Исследования состава и свойства молока, полученного от разных пород коз // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (114). С. 159–163.

REFERENCES

1. Bayazitova K.N., Takenova D.E., Shamekeshcheva K.G., Umarova A.K. Goat milk as a dietary food. *Aktual'nye problemy nauki i obrazovaniya v oblasti estestvennykh i sel'skokhozyaistvennykh nauk* = *Actual problems of science and education in the field of natural and agricultural sciences*, 2018, no. 1, pp. 26–28. (In Russian).
2. Kosimov M.A., Abdurakhmanov M.M. The importance of dairy goat breeding and its development in the households. *Doklady Tadjikskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* = *Reports of the Tajik Academy of Agricultural Sciences*, 2015, no. 1 (43), pp. 43–46. (In Russian).
3. Kozhanov T. Dairy goat farming in Russia: progress in breeding and processing. *Molochnaya promyshlennost'* = *Dairy industry*, 2017, no. 1 (60), pp. 42–44. (In Russian).
4. Buyarov V.S., Mal'tseva M.A., Aldobaeva N.A. Scientific and practical substantiation of the use of probiotics in dairy cattle breeding and meat poultry farming. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya* = *Agrarian journal of Upper Volga region*, 2018, no. 2 (23), pp. 79–86. (In Russian).
5. Zabelina M.V., Belova M.V., Karpova A.M. Ethological bases for improving the quality of milk and the productivity of lactating goats. *Surskii vestnik* = *Sursky vestnik*, 2018, no. 3 (3), pp. 12–16. (In Russian).
6. Sokolenko G.G., Lazarev B.P., Min'chenko S.V. Probiotics in rational animal nutrition. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei*

- promyshlennosti APK - produkty zdorovogo pitaniya = Technologies for the Food and Processing Industry of AIC - Healthy Food*, 2015, no. 1, pp. 72–77. (In Russian).
7. Kazaryan R.V., Borodikhin A.S., Luk'yanenko M.V., Achmiz A.D., Matvienko A.N. Prospective trends for the use of probiotics for the creation of polyfunctional feed additives. *Novye tekhnologii = New technologies*, 2018, no. 2, pp. 116–121. (In Russian).
 8. Milent'eva I.S., Kozlova O.V., Ereemeeva N.I. Study of the probiotic properties of bacteria of the genus *Propionibacterium*. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the South Ural State University*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 83–92. (In Russian). DOI: 10.14529/food210209.
 9. Shuvarikov A.S., Aleshina M.N., Pastukh O.N. Milk productivity and milk quality of Saanen goats of different populations. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo = Sheep, goats, wool business*, 2013, no. 1, pp. 30–32. (In Russian).
 10. Shchetinina E.M., Khodyreva Z.R. Studies of the composition and properties of milk obtained from different breeds of goats. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2014, no. 4 (114), pp. 159–163. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Функ И.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 656910, г. Барнаул, Научный городок, 35; e-mail: funk.irishka@mail.ru

Дорофеев Р.В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Irina A. Funk**, Candidate of Science in Agriculture, Junior Researcher; **address:** 35, Nauchny gorodok, Barnaul, 656910, Russia; e-mail: funk.irishka@mail.ru

Roman V. Dorofeev, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 03.06.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 08.07.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ШТАММЫ *BACILLUS SUBTILIS*, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВ ЯКУТИИ

Тарабукина Н.П., (✉) Былгаева А.А., Степанова А.М., Парникова С.И., Неустроев М.П.

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова –
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук»

Якутск, Россия

(✉) e-mail: agrobiotex@mail.ru

Скрининг природных микроорганизмов, обладающих сочетанием антагонистической и ферментативной активности, – одна из основных задач в разработке агrobiотехнологических препаратов. С целью поиска перспективных в современной биотехнологии штаммов бактерий рода *Bacillus* проведены микробиологические исследования мерзлотных почв Центральной Якутии. Из среднесуглинистой мерзлотной почвы Хангаласского улуса выделено 14 изолятов. Из них три изолята при идентификации по физиолого-биохимическим свойствам отнесены к виду *Bacillus subtilis*, что подтверждено молекулярно-генетическими исследованиями по 16S pPNK. Установлено, что новые штаммы *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p обладают выраженными антагонистическими свойствами по отношению к возбудителям сальмонеллезных и стрептококковых инфекций: *Sal. abortus equi* БН-12, *Str. equi* 5/1. Новые штаммы способны также к выработке ряда гидролитических ферментов (амилаза, ксиланаза, фитаза). В качестве контроля при определении количественных показателей ферментативной активности использованы штаммы бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5. Данные штаммы депонированы в коллекции микроорганизмов, используемых в животноводстве и в ветеринарии и являющихся основой пробиотических препаратов. Установлено, что штаммы *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p по амилазной активности несколько уступают контрольным штаммам, но по ксиланазной и фитазной активности значительно их превосходят. Результаты проведенных исследований показали перспективность новых штаммов *B. subtilis* для дальнейшего изучения и возможность использования при разработке биологических препаратов для сельского хозяйства.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*, культурально-морфологические свойства, антагонистическая активность, ферментативная активность, амилаза, ксиланаза, фитаза

NEW PROMISING STRAINS OF *BACILLUS SUBTILIS* ISOLATED FROM FROZEN SOILS OF YAKUTIA

Tarabukina N.P., (✉) Byлгаева A.A., Stepanova A.M., Parnikova S.I., Neustroev M.P.

M.G. Safronov Yakut Scientific Research Institute of Agriculture - Division of Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”
Yakutsk, Russia

(✉) e-mail: agrobiotex@mail.ru

Screening of natural microorganisms possessing a combination of antagonistic and enzymatic activities is one of the main tasks in the development of agrobiotechnological preparations. Microbiological studies of permafrost soils of Central Yakutia were carried out with the aim of finding bacterial strains of the *Bacillus* genus that are promising in modern biotechnology. 14 isolates were isolated from the middle loamy permafrost soil of the Khangalassky ulus. Of these three isolates were identified as *Bacillus subtilis* species by their physiological and biochemical properties which was confirmed by molecular genetic studies on 16S pPNK. The new strains of *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, and *B. subtilis* Bac-4p were found to possess marked antagonistic properties against Salmonellosis and streptococcal pathogens: *Sal. abortus equi* BN-12, *Str. equi* 5/1. New strains are also capable of producing a number of hydrolytic enzymes (amylase, xylanase, phytase). *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 bacterial strains were used as controls for determining quantitative indicators of enzymatic activity. These strains are deposited in the

collection of microorganisms used in animal husbandry and veterinary medicine and are the basis of probiotic preparations. *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, and *B. subtilis* Bac-4p strains were found to be somewhat inferior to the control strains in amylolytic activity, but they were significantly superior in xylanase and phytase activities. The results of these studies have shown the potential of new *B. subtilis* strains for further study and the possibility of using them in the development of biological preparations for agriculture.

Keywords: *Bacillus subtilis*, cultural and morphological properties, antagonistic activity, fermentation activity, amilase, xylanase, phytase

Для цитирования: Тарабукина Н.П., Былгаева А.А., Степанова А.М., Парникова С.И., Неустроев М.П. Новые перспективные штаммы *Bacillus subtilis*, выделенные из мерзлотных почв Якутии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 85–93. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-11>

For citation: Tarabukina N.P., Bylgaeva A.A., Stepanova A.M., Parnikova S.I., Neustroev M.P. New promising strains of *Bacillus subtilis* isolated from frozen soils of Yakutia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 85–93. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Спорообразующие бактерии рода *Bacillus* – перспективная группа микроорганизмов, которые продуцируют широкий спектр биологически активных веществ (БАВ): антибиотики, ферменты, регуляторы роста и другие соединения с антимикробными и ростостимулирующими свойствами [1]. Способность *Bacillus* к синтезу веществ антибиотической природы – один из ключевых факторов, определяющих природу антагонизма. Продукция БАВ обуславливает высокую бактерицидную и бактериостатическую активность в отношении патогенных грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также фунгицидную активность в отношении фитопатогенных грибов. В последние годы учеными активно исследуется комплекс литических ферментов бацилл как один из факторов, участвующих в проявлении антагонизма. Бактерии рода *Bacillus* привлекают внимание исследователей вследствие широкого распространения в природе, цикла развития, необычной устойчивости их спор к химическим, физическим и биологическим агентам. В настоящее время штаммы *Bacillus* используют для получения ферментов, антибиотиков, высокоочищенных биопрепаратов, моющих

дезинфицирующих средств, пробиотиков, биоинсектицидов, включая пищевые добавки и функциональные продукты питания.

Исследование ферментов имеет практическое значение в связи с их высокой каталитической активностью. К ферментам, имеющим высокую каталитическую активность при низких температурах, относят амилазы, липазы, протеазы, лактамазы, целлюлазы, ксиланазы, хитиназы и пектиназы. Большой интерес для исследователей представляют холодоактивные протеазы, нашедшие широкое применение в пищевой, фармацевтической промышленности, в производстве детергентов [2]. Вторую по значимости группу ферментов составляют амилазы, используемые в пищевой, текстильной и бумажной промышленности. Третья группа широко применяемых ферментов представлена липазами, выполняющими роль биокатализаторов в пищевой, бумажной и текстильной промышленности, производстве детергентов и др. [3].

В настоящее время актуален поиск наиболее перспективных микроорганизмов – высокоактивных продуцентов ферментов, так как производство препаратов на их основе занимает одно из ведущих мест в современной биотехнологии.

Цель исследования – определить перспективные штаммы микроорганизмов *Bacillus subtilis*, выделенных из мерзлотных почв Якутии.

Задачи исследования:

- идентифицировать по физиолого-биохимическим свойствам изоляты выделенных штаммов *B. subtilis*;
- изучить их антагонистические свойства;
- определить их ферментативную активность.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изоляты аэробных спорообразующих бактерий рода *Bacillus* выделены из образцов мерзлотной среднесуглинистой почвы Хангаласского района Республики Саха (Якутия), отобранных с использованием метода точечных проб, согласно ГОСТу¹.

Идентификацию изолятов бактерий рода *Bacillus* проводили по классификации, предложенной Gordon². При изучении культурально-морфологических свойств использовали микроскопию мазков выделенных и окрашенных по Граму изолятов. Подвижность выделенных бактерий определяли методом висячей капли. Наличие глобул в протоплазме клеток культур устанавливали с использованием мясо-пептонного агара (МПА) с 1%-й глюкозой. Галофильность определяли на мясо-пептонном бульоне (МПБ) с содержанием 2 и 7% хлористого натрия. Определение ацетилметилкарбинола, промежуточного продукта, образующегося при распаде глюкозы, – с помощью реакции Фогес-Проскауэра (среда Кларка).

Гидролиз крахмала изучали на картофельно-пептонном агаре с раствором люголя по появлению/отсутствию светлых зон гидролиза крахмала. Гидролиз казеина исследовали на молочном агаре по появлению зон гидролиза (прозрачных).

Для изучения антагонистической активности спорообразующих аэробных бактерий рода *Bacillus* использовали ГМФ – агар (ТУ 9385-058-39484474–2009) и ГМФ – бульон (ТУ 9385-059-39484474–2009). В качестве тест-культур использовали депонированные во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВГНКИ ветеринарных препаратов, Москва) штаммы бактерий *Salmonella abortus equi* БН-12, *Streptococcus equi* 5/1, предоставленные лабораторией ветеринарной биотехнологии Якутского НИИСХ.

Изучение антагонистической активности изолятов проводили диффузным способом на агаровой пластинке, содержащей односубстратные бульонные культуры тест-штаммов: МПА – для сальмонелл и МПА с добавлением 1%-й глюкозы, а также 10%-й сыворотки крови лошадей – для стрептококков. Затем с помощью стерильного пробойника делали лунки диаметром 7 мм, на которые вносили 0,3–0,5 мл культуральной жидкости выделенных изолятов, для контрольной чашки в лунку вносили стерильный раствор NaCl. Чашки с посевами (по три повторности) помещали в термостат при температуре 37 °С на 24 ч. Учет результатов осуществляли по наличию зон лизиса тест-культур вокруг лунки с исследуемыми изолятами бактерий рода *Bacillus*.

Токсичность и токсигенность изолятов определяли на беспородных белых мышах. Наблюдение за лабораторными животными вели в течение 10 сут в строгом соответствии с межгосударственными стандартами³.

Ферментативную активность изолятов изучали в 1, 2, 3, 4, 5-суточной культуральной жидкости после центрифугирования и фильтрования. Для этого изоляты культивировали на МПБ при температуре 37 °С в течение 5 сут. Пробы культуральной жидкости отбирали каждые сутки.

Ферментативную активность определяли с помощью спектрофотометра СФЭК

¹ГОСТ 17.4.4.02–2017. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М., 2019. 12 с.

²Определитель бактерий Берджи: справочник; 9-е изд. М.: Мир, 1997. 26 с.

³ГОСТ 33216–2014 Методы испытания по воздействию химической продукции на организм человека. Острая пероральная токсичность. М., 2019.

UV-1280, амилаолитическую, фитазную и ксиланазную активность устанавливали согласно ГОСТам⁴⁻⁶. Ферментативную активность ферментов определяли по изменению оптической плотности и выражали в ед./мл культуральной жидкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью идентификации выделенных изолятов провели изучение их культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств. В результате отобрано шесть изолятов, обладающих типичными свойствами бактерий рода *Bacillus*, характерных для первой морфологической группы (по Gordon). Все изоляты аэробы, спорообразующие, положительно окрашиваются по Граму, в основном подвижны, не образуют внутриклеточные глобулы (эндоспоры), каталазоположительные. Штаммы гидролизуют крахмал, частично разлагают казеин, в основном вызывают гидролиз крахмала, галофильны: многие растут в присутствии 7% NaCl, частично ферментируют углеводы (глюкоза, маннит, лактоза, арабиноза, ксилоза) с образованием кислоты. Выделенные изоляты несколько отличаются по биохимическим показателям, что, по сообщениям многих исследователей, характерно для видов этого рода [4]. Перспективными свойствами для возможного дальнейшего использования обладали три изолята: *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p.

По литературным данным установлено, что аэробные спорообразующие бактерии рода *B. subtilis* являются природными антагонистами многих патогенных и условно-патогенных микроорганизмов⁷ [5]. Фактор их антагонизма основывается на способности синтезировать широкий спектр биологически активных веществ, таких как антибиотики, ферменты, бактериоцины, угнетающие рост и развитие патогенов [6, 7]. В свя-

зи с этим проведено изучение антагонистической активности выделенных изолятов по отношению к тест-культурам *Sal. abortus equi* БН-12, *Str. equi* 5/1. Результаты эксперимента показали наличие антагонистических свойств выделенных штаммов по отношению к возбудителям сальмонеллезной и стрептококковой инфекций (см. таблицу).

Проведенные исследования показали, что наиболее высокая антагонистическая активность отмечена у штамма *B. subtilis* Bac-2p: зона лизиса тест-культур составила по 20 мм.

В следующей серии исследований определяли токсичность и токсигенность выделенных штаммов. Гибели лабораторных животных не зафиксировано. Также не выявлены признаки интоксикации организма мышей на всем протяжении опыта. Статистически значимых различий между животными, получившими исследуемые штаммы, и контрольными по показателям массы тела и прироста массы тела ни у самцов, ни у самок не выявлено. Таким образом, исследуемые штаммы *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p являются безопасными и не оказывают потенциально токсического эффекта при многократном внутрижелудочном введении.

В заключительном этапе исследований определяли ферментативную активность

Антагонистическая активность изолятов бактерий рода *Bacillus*, выделенных из мерзлотных почв, мм

Antagonistic activity of *Bacillus* genus bacterial isolates isolated from permafrost soils, mm

Штамм бактерий рода <i>B. subtilis</i>	Зона лизиса	
	<i>Sal. abortus equi</i>	<i>Str. equi</i>
<i>B. subtilis</i> Bac-1p	15	15
<i>B. subtilis</i> Bac-2p	20	20
<i>B. subtilis</i> Bac-4p	18	18

⁴ГОСТ 34440–2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилаолитической активности. М., 2019.

⁵ГОСТ 31487–2012. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности фитазы. М., 2013.

⁶ГОСТ Р 55302–2012. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения ксиланазной активности. М., 2012.

⁷Леяк А.А., Штерншис М.В. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus* spp. в отношении возбудителей болезней животных и растений // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 1. С. 42–55.

выделенных штаммов *B. subtilis*, так как известно, что представители данного рода относятся к наиболее активным продуцентам гидролитических ферментов [8].

Амилолитическая активность основывается на способности фермента бактериальной α -амилазы катализировать гидролиз внеклеточного полисахарида до декстринов [9]. Амилолитическую активность новых штаммов *B. subtilis* Вас-1р, *B. subtilis* Вас-2р, *B. subtilis* Вас-4р определяли в сравнении с эталонными штаммами *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5, находящимися в коллекции лаборатории разработки микробных препаратов ЯНИИСХ⁸.

Сравнительный анализ пяти штаммов *B. subtilis* показал, что они обладают различной амилолитической активностью (см. рис. 1). Наивысшую активность α -амилазы в первые сутки культивации проявили штаммы *B. subtilis* Вас-1р (32,53 ед./дм³) и *B. subtilis* ТНП-5 (55,95), среднюю – *B. subtilis* ТНП-3 (26,76), *B. subtilis*

lis Вас-4р (25,303), наименьшую – *B. subtilis* Вас-2р (20,1 ед./дм³). Следует отметить, что штаммы *B. subtilis* Вас-1р, *B. subtilis* Вас-2р, *B. subtilis* Вас-4р хотя и обладают амилолитической активностью, но по количеству ферментов амилолитического комплекса уступают эталонным штаммам.

Известно, что микроорганизмы, обладающие амилолитической активностью, способны продуцировать также и другие внеклеточные гидролитические ферменты, такие как ксиланаза, пектиназа, хитиназа и др. [10]. Ксилан – основной структурный и второй по распространенности полисахарид в растительных клетках [11]. Ферментом, гидролизующим ксилан, является ксиланаза, относящаяся к группе гидролитических. В основу определения ксиланазной активности положено (детекция) определение начальной скорости образования восстанавливающих сахаров с помощью метода Шо-моди-Нельсона из ксилана.

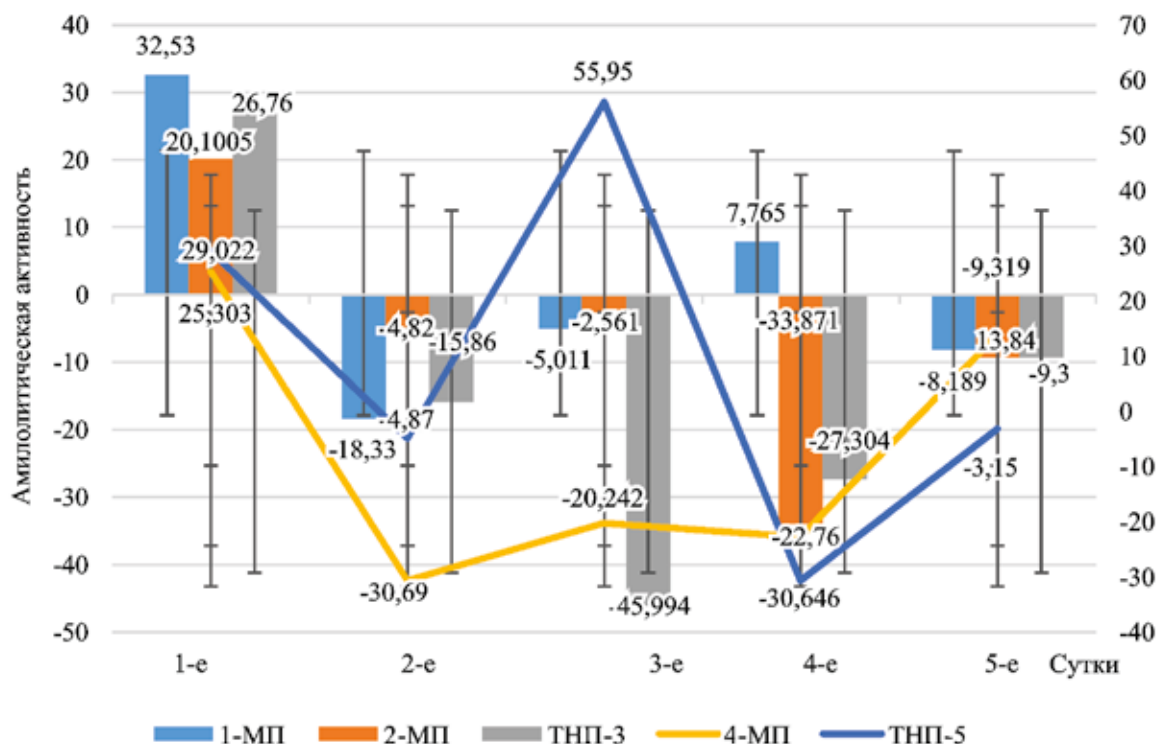


Рис. 1. Амилолитическая активность штаммов *B. subtilis* в зависимости от времени культивации, ед./дм³

Fig. 1. Amylolytic activity of *B. subtilis* strains depending on the cultivation time, units/m³

⁸ТУ 9384-003-00670203-06.

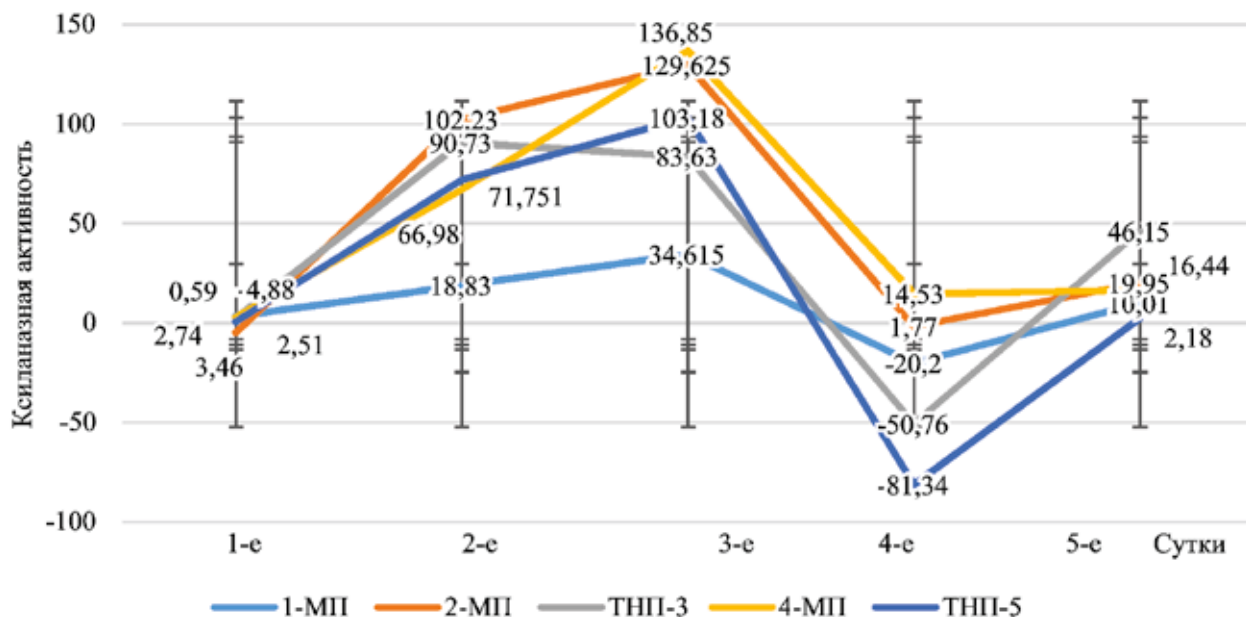


Рис. 2. Ксиланазная активность штаммов *B. subtilis* в зависимости от времени культивации, ед./дм³
Fig. 2. Xylanase activity of *B. subtilis* strains depending on the cultivation time, units/m³

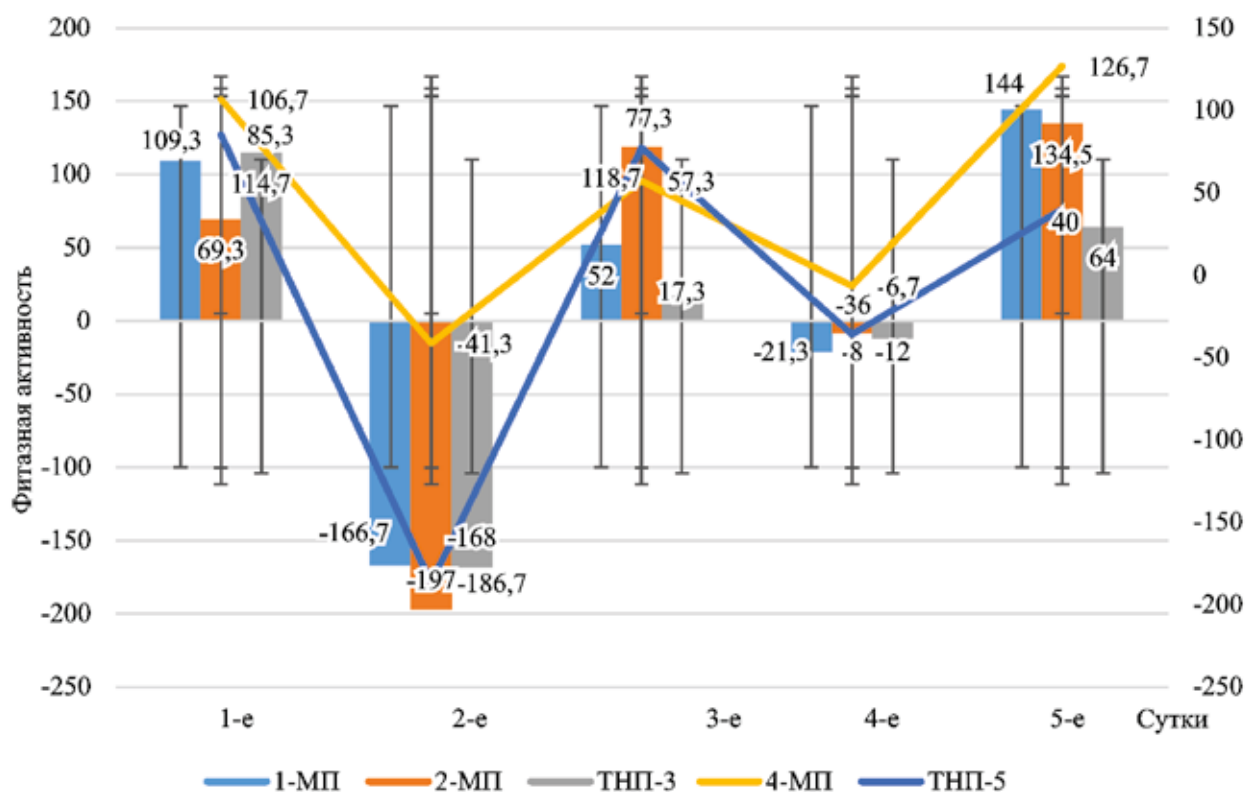


Рис. 3. Фитазная активность штаммов *B. subtilis* в зависимости от времени культивации, ед./дм³
Fig. 3. Phytase activity of *B. subtilis* strains depending on the cultivation time, units/m³

Пик ксиланазной активности исследуемых штаммов приходится на 3-и сутки культивации (от 100 ед.). Это штаммы *B. subtilis* Bac-4p (136,85 ед./дм³), *B. subtilis* Bac-2p (129,625), *B. subtilis* ТНП-5 (103,18 ед./дм³) (см. рис. 2). К концу наблюдения, на 5-е сутки, у всех исследованных штаммов *B. subtilis* зафиксировано снижение показателей ксиланазной активности. Таким образом, можно предположить, что ксиланазная активность штаммов *B. subtilis* набирает высокую активность на 2–3-и сутки культивации, затем постепенно снижаясь. При этом новые штаммы *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p по ксиланазной активности превосходят признанные штаммы *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5.

Фитазную активность определяют по неорганическому фосфату, образовавшемуся при гидролизе фитиновой кислоты ферментом фитазой. Фитиновая кислота (фитат) характеризуется сильным отрицательным зарядом в строении, что снижает биодоступность фосфора, кальция, других катионов, некоторых аминокислот и углеводов, а также запускает ряд нежелательных цепных физиологических реакций [12].

Анализ показал, что штаммы *B. subtilis* обладают различной фитазной активностью (см. рис. 3). Наивысшей фитазной активностью, установленной на 5-е сутки, обладали штаммы *B. subtilis* Bac-1p (144,0 ед./дм³), *B. subtilis* Bac-2p (134,5) и *B. subtilis* ТНП-3 (126,7 ед./дм³). Пик фитазной активности у эталонных штаммов установлен на 1-е сутки: *B. subtilis* ТНП-3 (114,7 ед./дм³) и *B. subtilis* ТНП-5 (85,3 ед./дм³).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из мерзлотных среднесуглинистых почв Якутии выделено 14 изолятов бактерий рода *Bacillus*. Из них три изолята идентифицированы по физиолого-биохимическим свойствам и подтверждены молекулярно-генетическим исследованием как *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p.

Новые штаммы *B. subtilis* Bac-1p, *B. subtilis* Bac-2p, *B. subtilis* Bac-4p, выделенные из мерзлотных почв Якутии, обладают

сочетанием антагонистической и ферментативной активности и перспективны для разработки лекарственных, ферментных, кормовых препаратов и добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова Т.Н., Иркитова А.Н., Гребеницкова А.В. Антагонистическая активность *Bacillus subtilis* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (163). С. 141–145.
2. Римарева Л.В., Сербя Е.М., Соколова Е.Н., Борщева Ю.А., Игнатова Н.И. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 5. С. 62–74.
3. Мухаммедиев Р.С., Валиуллин Л.В., Бирюля В.В., Скворцов Е.В. Ферментативная активность ксиланаз и целлюлаз пробиотических штаммов *Bacillus subtilis* // Ветеринарный врач. 2019. № 3. С. 19–23.
4. Русалеев В.С., Прунтова О.В., Васильев Д.А. Культурально-морфологические и биохимические свойства штаммов *Bacillus subtilis* // Ветеринария сегодня. 2019. № 1. С. 58–62. DOI: 10.29326/2304-196X-2019-1-28-58-62.
5. Евдокимова О.В., Мямин В.Е., Валентович Л.Н. Биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика бактерий *Bacillus pumilus*, изолированных на территории Беларуси // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2018. № 1. С. 38–49.
6. Владимиров Л.Н., Неустроев М.П., Тарабукина Н.П. Арктические штаммы *Bacillus subtilis* в современной микробиотехнологии // Ветеринария и кормление. 2020. № 2. С. 17–20. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814.
7. Скрыбина М.П., Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П. Ферментативная активность штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, выделенных из мерзлотных почв // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2020. № 1 (33). С. 73–79. DOI: 10.36871/vet.can.hyg.ecol.202001011.
8. Донкова Н.В., Донков С.А. Свойства штаммов *Bacillus subtilis* как продуцентов амилаз при производстве сахаросодержащей кормовой добавки // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 136–141. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-136-141.

9. Gandra J., Olivera E., Takiya C., Del Valle T., Renno F., Goes R., Escobar A. Amylolytic activity and chemical composition of rehydrated ground maize ensiled with α -amylase or glucoamylase // *The Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 157 (5). P. 449–455. DOI: 10.1017/S0021859619000698.
10. Василова Л.Я., Каримова Л.И., Борисенков А.Г. Скрининг микроорганизмов – продуцентов ксиланаз // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. № 1. С. 96–99. DOI: 10.17122/bcj-2019-1-96-99.
11. Gupta R.K., Gangoliya S.S., Singh N.K. Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains // *Journal of food science and technology*. 2015. Vol. 52 (2). P. 676–684. DOI: 10.1007/s13197-013-0978-y.
12. Peralta A.G., Venkatachalam S., Stone S.C., Pattathil S. Xylan epitope profiling: an enhanced approach to study organ development-dependent changes in xylan structure, biosynthesis, and deposition in plant cell walls // *Biotechnology for Biofuels*. 2017. Vol. 10. Is. 1. P. 245. DOI: 10.1186/s13068-017-0935-5.
- isolated on the territory of Belarus. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Journal of the Belarusian State University. Biology*, 2018, no. 1, pp. 38–49. (In Belarus).
6. Vladimirov L.N., Neustroev M.P., Tarabukina N.P. Arctic strains of *Bacillus subtilis* of in modern microbiotechnology. *Veterinariya i kormlenie = Veterinaria i kormlenie*, 2020, no. 2, pp. 17–20. (In Russian). DOI: 10.30917/ATT-VK-1814.
7. Skryabina M.P., Stepanova A.M., Tarabukina N.P., Neustroev M.P. Enzymatic activity of strains of bacteria *Bacillus subtilis* isolated from frozen soils. *Rossiiskii zhurnal Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii = The Russian journal "Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology"*, 2020, no. 1 (33), pp. 73–79. (In Russian). DOI: 10.36871/vet.can.hyg.ecol.202001011.
8. Donkova N.A., Donkov C.A. The properties of *Bacillus subtilis* strains as amylase producers in the production of sugar-containing fodder additive. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*, 2020, no. 5, pp. 136–141. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-136-141
9. Gandra J., Olivera E., Takiya C., Del Valle T., Renno F., Goes R., Escobar A. Amylolytic activity and chemical composition of rehydrated ground maize ensiled with α -amylase or glucoamylase. *The Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 157 (5), pp. 449–455. DOI: 10.1017/S0021859619000698.
10. Vasilova L.Ya., Karimova L.I., Borisenkov A.G. Screening of microorganisms – producers of xylanase. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal = Bashkir Chemical Journal*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 96–99. (In Russian). DOI: 10.17122/bcj-2019-1-96-99.
11. Gupta R.K., Gangoliya S.S., Singh N.K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of food science and technology*, 2015, vol. 52 (2), pp. 676–684. DOI: 10.1007/s13197-013-0978-y.
12. Peralta A.G., Venkatachalam S., Stone S.C., Pattathil S. Xylan epitope profiling: an enhanced approach to study organ development-dependent changes in xylan structure, biosynthesis, and deposition in plant cell walls. *Biotechnology for Biofuels*, 2017, vol. 10, is. 1, pp. 245. DOI: 10.1186/s13068-017-0935-5.

REFERENCES

1. Orlova T.N., Irkitova A.N., Grebenshchikova A.V. Antagonistic activity of *Bacillus subtilis*. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, vol. 163, no. 5, pp. 141–145. (In Russian).
2. Rimareva L.V., Serba E.M., Sokolova E.N., Borshcheva Yu.A., Ignatova N.I. Enzyme preparations and biocatalytic processes in the food industry. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*, 2017, vol. 86, no. 5, pp. 62–74. (In Russian).
3. Mukhammediev R.S., Valiullin L.V., Biryulya V.V., Skvortsov E.V. Enzymatic activity of xylanases and cellulases of probiotic strains *Bacillus subtilis*. *Veterinarnyi vrach = The Veterinary Vrach*, 2019, no. 3, pp. 19–23. (In Russian).
4. Rusaleyev V.S., Pruntova O.V., Vasilyev D.A. Cultural morphological and biochemical characteristics of *Bacillus subtilis* strains. *Veterinariya segodnya = Veterinary Science Today*, 2019, no. 1, pp. 58–62. (In Russian). DOI: 10.29326/2304-196X-2019-1-28-58-62.
5. Evdokimova O.V., Myamin V.E., Valentovich L.N. Biochemical and molecular genetic characteristics of *Bacillus pumilus* bacteria

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

✉ **Былгаева А.А.**, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 677001, Республика Саха (Якутия), ул. Бестужева-Марлинского, 23/1; e-mail: agrobiotex@mail.ru

Степанова А.М., кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; e-mail: hotubact@mail.ru

Парникова С.И., кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник; e-mail: hotubact@mail.ru

Неустроев М.П., доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий лабораторией; e-mail: mneyc@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

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

✉ **Andzhela A. Byлгаeva**, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher; **address:** 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo St., Republic of Sakha (Yakutia), 677001, Russia; e-mail: agrobiotex@mail.ru

Anna M. Stepanova, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher; e-mail: hotubact@mail.ru

Svetlana I. Parnikova, Candidate of Science in Veterinary Medicine, Senior Researcher, e-mail: hotubact@mail.ru

Mikhail P. Neustroev, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Professor, Laboratory Head; e-mail: mneyc@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 09.06.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 12.08.2022

Дата публикации / Published 20.03.2023

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ МЕДОНОСНЫХ ПЧЕЛ В ТЕЧЕНИЕ СЕЗОНА

✉ Березин А.С.

Федеральный научный центр пчеловодства

Рязанская область, г. Рыбное, Россия

✉ e-mail: mellifera@yandex.ru

Изучены экстерьерные признаки медоносных пчел, используемые для определения породной принадлежности в селекционной работе. Отмечено, что изменение экстерьерных признаков обусловлено различными факторами (географическими, межпородными, внутрисемейными и др.). Опыт проведен на пасеке, расположенной в Рязанской области, в 2021 г. Пробы молодых пчел в течение сезона получали с использованием рамочного изолятора. Препарирование и измерение отдельных частей хитинового скелета пчел провели по принятой методике измерения экстерьерных признаков с использованием программного обеспечения, которое позволяет проводить измерение по изображению объекта. По каждой пчелиной семье в отдельности рассчитаны средняя и ее стандартная ошибка. На основе полученных средних рассчитаны непараметрические критерии для множественных сравнений (Фридмана и Крускала-Уоллиса) с использованием программного обеспечения Statistica 13.0. Анализ полученных средних показал, что экстерьерные признаки изменялись в незначительной степени в течение сезона, но это изменение было меньше, чем изменчивость между особями одной пробы. Проведенное сравнение полученных средних с помощью непараметрических критериев в большинстве случаев показало незначительные различия между пробами, отобранными от одной пчелиной семьи в течение сезона. Только в трех случаях отмечены достоверные различия. Изменение экстерьерных признаков в течение сезона незначительно и связано оно с неравномерным смешиванием спермы трутней в половых путях пчелиной матки. Причем, чем больше эта неравномерность смешивания, тем больше различия. Рекомендуется проводить гомогенизацию спермы трутней при использовании инструментального осеменения.

Ключевые слова: полиандрия, пчела медоносная, изменчивость, экстерьер, *Apis mellifera*, Altami Studio

CHANGES IN THE EXTERIOR FEATURES OF HONEY BEES DURING THE SEASON

✉ Berezin A.S.

Federal Beekeeping Research Centre

Rybnoe, Ryazan region, Russia

✉ e-mail: mellifera@yandex.ru

The exterior traits of honey bees used to determine breed affiliation in breeding work were studied. It has been noted that changes in exterior traits are caused by various factors (geographic, interbreeding, intrafamily, etc.). The experiment was conducted on an apiary located in the Ryazan region in 2021. Young bees were sampled during the season using a frame isolator. Individual parts of the chitinous skeleton of bees were dissected and measured according to the accepted method of measuring exterior features using software that allows to measure from the image of the object. The average and its standard error were calculated for each bee family separately. Non-parametric tests for multiple comparisons (Friedman and Kruskal-Wallis) were calculated using Statistica 13.0 software. Analysis of the obtained averages showed that the exterior traits change to a small extent during the season, but this change was less than the variability between the individuals of the same sample. Comparison of the averages obtained using non-parametric tests in most cases showed insignificant differences between the samples taken from the same bee family during the season. Only three cases showed significant differences. The change in exterior traits during the season is insignificant, and it is associated with the uneven mixing of drone bees' sperm in the genital tracts of the queen bee. Moreover, the greater this unevenness of mixing, the greater the differences. It is recommended to homogenize the sperm of drones when using instrumental insemination.

Keywords: polyandry, honey bee, variability, exterior, *Apis mellifera*, Altami Studio

Для цитирования: Березин А.С. Изменение экстерьерных признаков медоносных пчел в течение сезона // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 94–100. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-12>

For citation: Berezin A.S. Changes in the exterior features of honey bees during the season. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 94–100. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-12>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена по теме государственного задания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пчеловодства» (ФГБНУ ФНЦ пчеловодства) № 0642-2019-0002.

Acknowledgments

The work was carried out on the topic of the state task of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Beekeeping Research Centre» (FSBSI "FBRC") № 0642-2019-0002.

ВВЕДЕНИЕ

Морфометрические признаки формируются под влиянием взаимодействия генотипа и среды. Вид пчела медоносная (*Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)) распространен на большей части поверхности суши Земли. Его экстерьерные признаки, используемые в том числе для определения их породной (расовой) принадлежности, подвержены изменчивости (географической, сезонной и т.д.)¹ [1].

В настоящее время в литературе представлены различные данные по вопросу сезонной изменчивости экстерьера пчел. К географической можно отнести изменчивость, связанную с изменением высоты обитания над уровнем моря. Так, S. Radloff et al.², используя многомерный анализ морфометрических признаков рабочих пчел из естественных популяций, разделили их на три группы по высоте обитания над уровнем моря. A.R.S. Sousa et al. [2] показали, что семьи африканизированных пчел из нескольких районов Бразилии имели выраженные морфометрические отличия, а размер тела изменялся в зависимости от высоты.

Начало изучения сезонной изменчивости пчел положил еще А.С. Михайлов³, проана-

лизировав несколько поколений, полученных от одной матки за один сезон, по ряду признаков. А.Л. Дулькин и Г.Ф. Трескова⁴ определили, что длина крыла, ширина крыла и длина третьего тергита у уральской пчелы были наибольшими весной, а длина хоботка – в середине лета. И.Д. Мумладзе⁵ показал, что у популяций серых горных кавказских пчел линейные размеры большинства признаков уменьшаются к осени. Другие авторы считают, что к концу сезона признаки, наоборот, увеличиваются. Так, Н.И. Кривцов⁶ указывает, что значения экстерьерных признаков пчел осенью у среднерусской породы достоверно больше, чем летом. Е.Д. Бозина⁷ при сравнении проб, отобранных от пчелиных семей четырех пород в мае и сентябре, установила, что в основном длина хоботка осеннего поколения длиннее, чем у весеннего, но есть исключения. Данные исследований по длине и ширине воскового зеркала, размерам крыла в основном подтверждают результаты по изменчивости хоботка. Зарубежными авторами установлено, что экстерьер медоносных пчел, полученных в сухой сезон и в сезон дождей от одной популяции, различается [3].

¹Alpatov W.W. Biometrical studies on variation and races of the honey bee (*Apis mellifera* L.) // The Quarterly review of biology. 1929. Vol. 4. N 1. P. 1–58. DOI: 10.1086/394322.

²Radloff S.E., Hepburn H.R. Honeybees, *Apis mellifera* Linnaeus (Hymenoptera: Apidae), of the Drakensberg Mountains in relation to neighbouring populations // African Entomology. 1999. Vol. 7. N 1. P. 35–41.

³Михайлов А.С. Сезонная изменчивость пчел // Опытная пасека. 1927. № 6. С. 180–183.

⁴Дулькин А.Л., Трескова Г.Ф. Об уральской горно-таежной пчеле // Пчеловодство. 1953. Т. 30. № 4. С. 26–29.

⁵Мумладзе И.Д. Характеристика гурийской популяции пчел // Пчеловодство. 1968. № 2. С. 10–11.

⁶Кривцов Н.И. Сезонная изменчивость среднерусских пчел // Пчеловодство. 1972. № 8. С. 19–20.

⁷Бозина Е.Д. Изменчивость длины хоботка разных групп пчел // Пчеловодство. 1958. № 2. С. 25–28.

А. Janczyk, А. Tofilski [4] установили, что различия между семьями по форме крыла были намного больше, чем сезонные различия, следовательно, влияние сезонности на идентификацию незначительно.

Цель исследования – оценить изменчивость экстерьера пчел внутривидового типа среднерусской породы Приокский в течение сезона и установить возможные ее причины.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыт проведен на пасеке, расположенной в г. Рыбное Рязанской области, в 2021 г. Для опыта создана группа из 11 пчелиных семей внутривидового типа среднерусской породы Приокский. К завершению опыта осталось 5 семей, остальные 6 выбыли в течение сезона по причине смены маток.

Для изучения экстерьера отбирали пробы 3–5-суточных пчел⁸. Для этого сот с выходящим расплодом пчел ставили в рамочный изолятор, который затем помещали в гнездо на 24 ч. По истечении 24 ч сот с расплодом доставали, стряхивали пчел на пленку, а сот возвращали в семью. Полученных суточных пчел высыпали в изолятор, давали туда кормовую рамку, затем изолятор ставили в гнездо на срок от 5 до 7 сут. Пробы пчел старались отбирать один раз в 2 нед, но иногда происходило смещение, если планируемая дата попадала на выходные или плохую погоду. На дату 14 июля произведен дополнительный отбор пробы, так как в некоторых пробах предыдущего отбора отмечено мало пчел. Заключительный отбор проб пчел девятой серии сделали непосредственно из семей, не применяя изоляторы (так как в это время уже не было расплода). Дата этого отбора является типичной датой отбора проб пчел для анализа.

Работу по препарированию и измерению экстерьерных признаков выполняли по модифицированной и дополненной методике Алпатова [5]. Для измерения экстерьерных

признаков пчел использовали лицензионное сертифицированное программное обеспечение Altami Studio. Расчет средней (M) и ее стандартной ошибки (m) выполняли в программном обеспечении Microsoft Office Excel, с использованием пакета Анализ данных – Описательная статистика. Расчет непараметрических критериев: критерия Фридмана (Friedman ANOVA) (X_r^2) и критерия Крускал-Уоллиса (Kruskal-Wallis) (H) провели с использованием программного обеспечения Statistica 13.0. Критерий X_r^2 позволяет провести множественное сравнение какого-либо показателя, измеренного по одной выборке несколько раз на протяжении определенного периода времени. Критерий H также позволяет провести множественное сравнение какого-либо показателя, измеренного на нескольких (больше двух) выборках⁹. Данные критерии являются непараметрическими аналогами однофакторному дисперсионному анализу (с повторными измерениями (X_r^2) и измерениями нескольких групп (H)¹⁰). Параллельное использование критериев для независимых и зависимых выборок обосновано тем, что результаты измерений выполнены на разных пробах и их, с одной стороны, можно считать независимыми, с другой стороны, пчелы в разных пробах от одной семьи связаны родством, по меньшей мере, по материнской линии¹¹.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По каждой пробе определены средняя арифметическая (M) и стандартная ошибки (m) для всех измеренных признаков, которые представлены в табл. 1.

Экстерьерные признаки по каждой пчелиной семье незначительно волнообразно изменяются в течение сезона (см. табл. 1). При этом данные изменения не всегда синхронны. Так, в одной пчелиной семье признак может уменьшаться, а в другой, в тот же период времени, – увеличиваться.

⁸Goetze G.K.L. Die Honigbiene in natürlicher und künstlicher Zuchtauslese. Teil II: Beurteilung und züchterische Auslese von Bienenvölkern // Monographien zur angewandten Entomologie. Vol. 20. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey, 1964. 92 p. DOI: 10.1002/mmnd.19650120110.

⁹Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии. СПб.: ООО Речь, 2000. 350 с.

¹⁰<http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm>

¹¹Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1973. 142 с.

Табл. 1. Изменение экстерьерных признаков пчел ($M \pm m$) в течение сезона
Table 1. Change in the exterior characteristics of bees ($M \pm m$) during the season

№ пче- льной семьи	Дата отбора проб									
	01.06.2021 г.	15.06.2021 г.	06.07.2021 г.	14.07.2021 г.	20.07.2021 г.	03.08.2021 г.	17.08.2021 г.	31.08.2021 г.	14.09.2021 г.	06.10.2021 г.
Длина хоботка ($n_{пробы} = 26-30$)										
2	6,61 ± 0,019	6,59 ± 0,020	6,49 ± 0,018	6,59 0,019	6,63 ± 0,012	6,62 ± 0,017	6,56 ± 0,013	6,44 ± 0,020	6,69 ± 0,026	6,58 ± 0,026
15	6,58 ± 0,018	6,62 ± 0,022	6,49 ± 0,019	6,57 ± 0,018	6,54 ± 0,021	6,44 ± 0,013	6,52 ± 0,018	6,52 ± 0,019	6,52 ± 0,032	6,49 ± 0,021
18	6,61 ± 0,023	6,55 ± 0,019	6,52 ± 0,021	—	6,56 ± 0,019	6,51 ± 0,027	6,55 ± 0,019	6,58 ± 0,020	6,59 ± 0,025	6,55 ± 0,019
35	6,57 ± 0,019	6,56 ± 0,022	6,43 ± 0,023	—	6,54 ± 0,021	6,56 ± 0,019	6,52 ± 0,025	6,55 ± 0,017	—	6,55 ± 0,020
40	—	—	6,48 ± 0,027	—	6,58 ± 0,021	6,50 ± 0,018	6,53 ± 0,021	6,50 ± 0,020	6,57 ± 0,019	6,49 ± 0,026
Условная ширина третьего tergита ($n_{пробы} = 26-30$)										
2	4,74 ± 0,013	4,75 ± 0,022	4,70 ± 0,014	4,74 0,014	4,82 ± 0,020	4,83 0,018	4,71 ± 0,018	4,77 ± 0,015	4,78 ± 0,021	4,77 ± 0,021
15	4,75 ± 0,026	4,77 ± 0,025	4,91 ± 0,020	4,95 ± 0,022	4,85 ± 0,029	4,75 ± 0,028	4,85 ± 0,027	4,81 ± 0,023	4,90 ± 0,020	4,70 ± 0,027
18	4,66 ± 0,019	4,68 ± 0,012	4,73 ± 0,020	—	4,70 ± 0,017	4,71 ± 0,014	4,77 ± 0,015	4,75 ± 0,013	4,77 ± 0,026	4,73 ± 0,014
35	4,78 ± 0,019	4,76 ± 0,021	4,72 ± 0,024	—	4,83 ± 0,024	4,82 ± 0,022	4,82 ± 0,018	4,81 ± 0,020	—	4,81 ± 0,019
40	—	—	4,58 ± 0,020	—	4,71 ± 0,021	4,73 ± 0,022	4,71 ± 0,021	4,69 ± 0,022	4,78 ± 0,021	4,72 ± 0,018
Длина правого переднего крыла ($n_{пробы} = 26-30$)										
2	9,16 ± 0,021	9,20 ± 0,020	9,06 ± 0,021	9,10 0,019	9,21 ± 0,017	9,25 ± 0,018	9,17 ± 0,020	9,16 ± 0,019	9,30 ± 0,026	9,27 ± 0,027
15	9,22 ± 0,020	9,23 ± 0,023	9,20 ± 0,026	9,26 ± 0,022	9,25 ± 0,024	9,14 ± 0,033	9,24 ± 0,027	9,20 ± 0,027	9,27 ± 0,027	9,08 ± 0,023
18	9,11 ± 0,014	9,14 ± 0,018	9,10 ± 0,024	—	9,14 ± 0,019	9,12 ± 0,019	9,15 ± 0,020	9,23 ± 0,020	9,11 ± 0,028	9,16 ± 0,021
35	9,20 ± 0,020	9,07 ± 0,025	9,05 ± 0,022	—	9,24 ± 0,025	9,20 ± 0,021	9,22 ± 0,023	9,18 ± 0,029	—	9,23 ± 0,020
40	—	—	9,16 ± 0,027	—	9,25 ± 0,020	9,22 ± 0,021	9,26 ± 0,018	9,21 ± 0,020	9,33 ± 0,018	9,34 ± 0,021
Длина отрезка FG медиальной жилки на правом переднем крыле ($n_{пробы} = 26-30$)										
2	0,24 ± 0,004	0,25 ± 0,005	0,25 ± 0,004	0,25 ± 0,005	0,26 ± 0,005	0,25 ± 0,005	0,24 ± 0,006	0,25 ± 0,004	0,26 ± 0,004	0,27 ± 0,005
15	0,23 ± 0,005	0,24 ± 0,004	0,24 ± 0,005	0,23 ± 0,003	0,23 ± 0,004	0,23 ± 0,005	0,24 ± 0,004	0,23 ± 0,004	0,25 ± 0,003	0,24 ± 0,004
18	0,28 ± 0,005	0,28 ± 0,005	0,27 ± 0,004	—	0,27 ± 0,005	0,27 ± 0,004	0,26 ± 0,003	0,27 ± 0,005	0,25 ± 0,005	0,28 ± 0,005
35	0,26 ± 0,005	0,26 ± 0,004	0,25 ± 0,003	—	0,27 ± 0,003	0,25 ± 0,004	0,24 ± 0,004	0,26 ± 0,003	—	0,26 ± 0,004
40	—	—	0,24 ± 0,005	—	0,25 ± 0,004	0,25 ± 0,004	0,24 ± 0,005	0,25 ± 0,004	0,26 ± 0,004	0,25 ± 0,004

Для выяснения достоверности этих изменений по результатам табл. 1 рассчитаны критерии Фридмана (X_r^2) и Крускал-Уоллиса (H) (см. табл. 2). Предложены две противоположные гипотезы, которые проверяли вычислением X_r^2 : нулевая (H_0) и альтернативная (H_1). Гипотеза H_0 свидетельствует, что результаты измерения экстерьерного признака в течение сезона не различаются, т.е. экстерьерный признак в течение сезона значительно не изменяется. В случае, когда расчетное значение X_r^2 превосходит критическое значение (для выбранного уровня значимости и соответствующего числа степеней свободы), то H_0 отклоняется и принимается H_1 (т.е. различия неслучайны). Так как X_r^2 используется для зависимых выборок, и, учитывая то, что в табл. 1 есть пустые ячейки, мы рассчитывали X_r^2 для разного количества семей и разного числа отбора проб.

Критерием H мы проверяли также две гипотезы: H_0 – между пробами от одной пчелиной семьи существуют только случайные

различия по уровню исследуемого признака, и H_1 – между пробами от одной пчелиной семьи существуют неслучайные различия по уровню исследуемого признака.

В связи с тем, что данные критерии при больших выборках (с большим количеством сравниваемых пар) или при большом числе случаев имеют распределение, близкое к X^2 , полученные эмпирические значения этих критериев сопоставляли с критическими значениями X^2 (см. сноску 9). С помощью критерия X_r^2 установлены достоверные различия: в одном случае для признака Длина хоботка и в другом – для признака Длина отрезка FG . Различия по критерию H получились достоверными только для признака Длина хоботка. То, что различия достоверны, т.е. неслучайны только в единичных случаях, свидетельствует в пользу гипотезы о неравномерном смешивании спермы.

Коэффициент конкордации (или согласованности) Кендалла (W) похож на R Спирмена, но в отличие от R показывает зависи-

Табл. 2. Сравнение результатов измерения экстерьерных признаков с помощью непараметрических критериев

Table 2. Comparison of the results of measuring exterior features using non-parametric criteria

C	N	df	Критерий Фридмана		Коэффициент согласованности		Критерий Крускал-Уоллиса (df= 9, N= 44)	
			X_r^2	p	W	r	H	p
Длина хоботка								
10	2	9	10,71	0,296	0,595	0,190	21,12*	0,012
9	3	8	14,38	0,072	0,599	0,399		
8	4	7	14,36*	0,045	0,513*	0,350		
6	5	5	9,48	0,091	0,379	0,224		
Условная ширина третьего tergита								
10	2	9	5,71	0,769	0,317	0,366	6,81	0,657
9	3	8	8,85	0,355	0,369	0,053		
8	4	7	9,02	0,251	0,322	0,096		
6	5	5	2,75	0,739	0,109	0,113		
Длина правого переднего крыла								
10	2	9	9,05	0,432	0,503	0,006	11,04	0,273
9	3	8	7,38	0,496	0,307	−0,039		
8	4	7	11,42	0,121	0,408	0,210		
6	5	5	10,03	0,074	0,401	0,251		
Длина отрезка FG медиальной жилки на правом переднем крыле								
10	2	9	11,19	0,263	0,622	0,243	5,42	0,796
9	3	8	9,07	0,336	0,378	0,067		
8	4	7	12,67	0,081	0,452	0,269		
6	5	5	15,40**	0,009	0,616**	0,520		

Примечание. C – число случаев; N – количество сравниваемых пар; df – число степеней свободы; r – средний ранг.

*Количество звездочек показывает, на каком уровне данный критерий достоверен.

мость между несколькими переменными (см. сноску 10). В нашем случае он показывает согласованность изменений экстерьерных признаков в течение сезона. Достоверность коэффициента W проверяли по критерию Пирсона (X^2), рассчитанному по формуле $X^2_{\text{расч}} = N(C-1)W$ [6].

Затем $X^2_{\text{расч}}$ сравнивали с табличным X^2 (см. сноску 9). Если $X^2_{\text{расч}} > X^2_{\text{табл}}$, то W признается достоверным. Коэффициент W был достоверным в двух случаях и имел среднюю степень согласованности изменений, что, возможно, явилось следствием действия каких-то неучтенных факторов, и, следовательно, можно считать случайным, так как при других сочетаниях (в большинстве случаев) количества пчелиных семей и количеств дат отбора проб коэффициент не был достоверным.

Ранее нами установлено, что внутрисемейная изменчивость, определенная по коэффициенту вариации, в основном существенно больше, чем сезонная [7]. Так, например, у пчелиной семьи № 18 по признаку Длина хоботка C_v варьировал от 1,52 до 2,28% (в зависимости от даты отбора пробы), а сезонный C_v составил 0,5%. У семьи № 15 данный показатель был от 1,08 до 2,68 и 0,78% соответственно, у семьи № 2 – от 0,96 до 2,16 и 1,07 соответственно. По признаку Длина отрезка FG медиальной жилки на правом переднем крыле, в зависимости от даты отбора пробы, C_v по семье № 18 (в зависимости от даты отбора пробы) составил от 6,48 до 11,38, а сезонный – 3,65%. По семьям № 15 и № 2 (в зависимости от даты отбора) отмечены вариации данного показателя от 6,96 до 12,03 и от 7,72 до 13,05, сезонного – 2,26 и 3,16% соответственно. Это может быть связано с тем, что пчелиная матка спаривается с несколькими трутнями¹², а сезонная изменчивость обусловлена неравномерным (или частичным) смешиванием спермы трутней в половых путях пчелиных маток¹³. В связи с этим установленные с помощью непараметрических критериев достоверные различия, можно также отнести к неравномерности смешивания спермы (см. сноску 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение экстерьерных признаков в течение сезона связано не с климатическими условиями или питанием, а с неравномерностью смешивания спермы трутней в семяприемнике маток, так как коэффициент вариации между особями одной пробы больше, чем между пробами пчел, отобранными от одной пчелиной семьи. В случае применения инструментального осеменения необходимо проводить гомогенизацию спермы, чтобы состав потомства матки был выровнен в течение всего периода ее использования [8]. Сравнение потомства маток, осемененных гомогенизированной спермой, является возможной темой наших дальнейших исследований. Рекомендовано пробы в семьях, сформированных в текущем году, отбирать после смены пчел на потомство новой матки, а также для получения пчел использовать рамочный изолятор. Отбирать пробы пчел можно в любой период сезона, но наиболее удобным является осенний период (конец августа – сентябрь). Потомство от лучших по продуктивности пчелиных семей (независимо от типа спаривания) нужно получать в год достижения ими высокой продуктивности (см. сноску 13).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tan K., Meixner M.D., Fuchs S., Zhang X., He S.Y., Kandemir I., Sheppard W.S., Koeniger N. Geographic distribution of the eastern honeybee, *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae) across ecological zones in China: morphological and molecular analyses // Systematics and Biodiversity. 2006. Vol. 4. N 4. P. 473–482. DOI: 10.1017/S1477200006002015.
2. Sousa A.R.S., Araujo E.D., Gramacho K.P., Nunes L.A. Bee's morphometrics and behavior in response to seasonal effects from ecoregions // Genetics and Molecular Research. 2016. Vol. 15. N 2. P. 1–14. DOI: 10.4238/gmr.15027597.
3. Moretti C.J., Costa C.P., Franco T.M. Wing morphometrics reveals the migration patterns of Africanized honey bees in Northeast Brazil // So-

¹²Тряско В.В. Признаки осемененности пчелиных маток // Пчеловодство. 1951. Т. 28. № 11. С. 25–31.

¹³Назин С.Н. Влияние полиандрии матки на генеалогию рабочих особей у медоносной пчелы. Сборник НИР по пчеловодству. Рыбное: НИИП, 1993. С. 8–21.

- ciobiology. 2018. Vol. 65. N 4. P. 679–685. DOI: 10.13102/sociobiology.v65i4.3403.
4. Janczyk A., Tofilski A. Monthly Changes in Honey Bee Forewings Estimated Using Geometric Morphometrics // *Journal of Apicultural Science*. 2021. Vol. 65. N 1. P. 139–146. DOI: 10.2478/jas-2021-0002.
 5. Березин А.С. Методы морфометрии в определении породной принадлежности медоносных пчел // *Биомика*. 2019. Т. 11. № 2. С. 167–189. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-16.
 6. Толчеев В.О. Проведение и анализ результатов экспертного опроса // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2019. Т. 85. № 7. С. 73–82. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-7-73-82.
 7. Березин А.С., Языков И.А. Сезонная изменчивость пчелы медоносной *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Apidae) // *Пермский аграрный вестник*. 2022. Т. 40, № 4. С. 61–68. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_40_61.
 8. Pieplow J.T., Brauße J., van Praagh J.P., Moritz R.F.A., Erler S. A scientific note on using large mixed sperm samples in instrumental insemination of honeybee queens // *Apidologie*. 2017. Vol. 48. N 5. P. 716–718. DOI: 10.1007/s13592-017-0516-4.
 2. Sousa A.R.S., Araujo E.D., Gramacho K.P., Nunes L.A. Bee's morphometrics and behavior in response to seasonal effects from ecoregions. *Genetics and Molecular Research*, 2016, vol. 15, no. 2, pp. 1–14. DOI: 10.4238/gmr.15027597.
 3. Moretti C.J., Costa C.P., Franco T.M. Wing morphometrics reveals the migration patterns of Africanized honey bees in Northeast Brazil. *Sociobiology*, 2018, vol. 65, no. 4, pp. 679–685. DOI: 10.13102/sociobiology.v65i4.3403
 4. Janczyk A., Tofilski A. Monthly Changes in Honey Bee Forewings Estimated Using Geometric Morphometrics. *Journal of Apicultural Science*, 2021, vol. 65, no. 1, pp. 139–146. DOI: 10.2478/jas-2021-0002.
 5. Berezin A.S. Methods of morphometry in determining the breed of honey bees. *Biomika = Biomics*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 167–189. (In Russian). DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-16.
 6. Tolcheev V.O. Expert survey and analysis of the results. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Industrial laboratory. Diagnostics of Materials*, 2019, vol. 85, no. 7, pp. 73–82. (In Russian). DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-7-73-82.6.
 7. Berezin A.S., Yazykov I.A. Seasonal variability of the honey bee *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Apidae). *Permsky Agrarny Vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2022, vol. 40, no. 4, pp. 61–68. (In Russian). DOI: 10.47737/2307-2873_2022_40_61.
 8. Pieplow J.T., Brauße J., van Praagh J.P., Moritz R.F.A., Erler S. A scientific note on using large mixed sperm samples in instrumental insemination of honeybee queens. *Apidologie*, 2017, vol. 48, no. 5, pp. 716–718. DOI: 10.1007/s13592-017-0516-4.

REFERENCES

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ Березин А.С., научный сотрудник; адрес для переписки: Россия, 391110, Рязанская область, г. Рыбное, ул. Почтовая, 22; e-mail: mellifera@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ Andrey S. Berezin, Researcher; address: 22, Pochtovaya St., Rybnoe, Ryazan Region, 391110, Russia; e-mail: mellifera@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 26.05.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 06.06.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023



РАЗРАБОТКА ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИКЛОНА

Пшенов Е.А., (✉)Блёскин С.С.

Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

(✉)e-mail: Moonlait2510@mail.ru

Исследован процесс сепарации транспортируемого материала от несущего газового потока в циклонных аппаратах на зерноперерабатывающих предприятиях. Производство комбикормов сопровождается образованием мелкодисперстной мучной пыли, которая является ценным компонентом ферментированных кормов. Системы аспирации миникомбикормовых заводов не обеспечивают ее улавливание в полном объеме, что приводит к загрязнению помещений, а также потере части продукта. В ходе анализа конструкций и путей совершенствования центробежных аппаратов определено, что перспективна установка в выхлопном патрубке циклона дополнительных закручивающих устройств для очистки воздушного потока от мелкой пыли. Предложена конструкция циклона с дополнительной ступенью очистки воздушного потока от мелкой мучной пыли в выходном патрубке, используемая в системе пневмотранспорта миникомбикормового завода. Диаметр осевого патрубка увеличен для размещения внутри его отбойного конуса и вихревой воронки. При этом диаметр выходного патрубка должен быть меньше диаметра верхнего основания вихревой воронки для снижения выноса мелкой фракции из циклона. Разработана экспериментальная установка, включающая загрузочный бункер, пневмоприемник-отвод, материалопровод, циклон, фильтр и всасывающий вентилятор. В качестве материала использовано зерно пшеницы влажностью 16%, измельченное на молотковой дробилке с диаметром отверстий в решетке 3 мм. Произведены сравнительные испытания предлагаемого циклона с циклонами типа ЦР и SNT, результаты которого доказывают эффективность предложенной конструкции. В исследуемом диапазоне (от 0,026 до 0,33 кг/с) эффективность двухступенчатого циклона по подаче транспортируемого материала была выше, чем у серийно выпускаемых циклонов разгрузителей ЦР.

Ключевые слова: миникомбикормовый завод, пневмотранспорт, циклон разгрузитель, мучная пыль

DEVELOPMENT OF A TWO-STAGE CYCLONE

Pshenov E.A., (✉)Bleskin S.S.

Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

(✉)e-mail: Moonlait2510@mail.ru

The process of separating the transported material from the carrying gas flow in cyclones at grain-processing enterprises is studied. Feed production is accompanied by the formation of fine flour dust which is a valuable component of fermented feed. Aspiration systems of mini-fodder plants do not provide its full capture, which leads to contamination of the premises, as well as the loss of some of the product. During the analysis of designs and ways to improve centrifugal apparatuses, it was determined that installation of additional swirling devices in the cyclone exhaust pipe is promising for cleaning the air flow from fine dust. The design of cyclone with an additional stage of cleaning the air flow from fine flour dust in the outlet nozzle, used in the pneumatic conveying system of mini-fodder plant, is proposed. The diameter of the axial pipe socket is enlarged to ac-

commodate the baffle cone and vortex funnel inside it. The diameter of the outlet nozzle should be smaller than the diameter of the upper base of the vortex funnel to reduce the fine fraction escape from the cyclone. An experimental unit was developed including a charging hopper, pneumatic receptor-diverter, material pipeline, cyclone, filter, and a suction fan. The material used was wheat grain with a moisture content of 16%, crushed on a hammer crusher with a hole diameter of 3 mm in the sieve. Comparative tests of the proposed cyclone with cyclones of the DC and SNT types were carried out, the results of which prove the effectiveness of the proposed design. In the investigated range (from 0.026 to 0.33 kg/s) the efficiency of the two-stage cyclone in feeding the transported material was higher than that of the commercially available discharger cyclones DC.

Keywords: mini-fodder plant, pneumatic conveying, discharger cyclone, flour dust

Для цитирования: Пшенов Е.А., Блёскин С.С. Разработка двухступенчатого циклона // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 101–109. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-13>

For citation: Pshenov E.A., Bleskin S.S. Development of a two-stage cyclone. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 101–109. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-13>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время индустрия (предприятия химической, металлургической, горнодобывающей и пищевой промышленности) оказывает большое влияние на атмосферу, литосферу и гидросферу планеты. В связи с выбросами в окружающую среду различных отходов существует государственный контроль за загрязнениями. Поэтому каждое предприятие заинтересовано в экологичности производства не только с этической точки зрения, но и из-за возможных санкций. В связи с этим для организации производства необходимы системы очистки, утилизации, депонирования отходов.

Главными факторами, влияющими на состояние атмосферы, являются выбросы отработанного газового потока после недостаточно эффективной системы его очистки. Один из основных выбросов комбикормовых предприятий в атмосферу – мелкодисперсный компонент продуктов измельчения зерна. Результаты исследований на комбикормовых производствах подтверждают, что одним из вредных условий труда является запыленность воздуха^{1,2}. Так, запыленность

отходящих газов при переработке зерновых культур может достигать от 2 до 3 г/м³.

Отдельного внимания заслуживают миникомбикормовые заводы, предназначенные для приготовления полнорационных кормов с различными добавками в условиях малых и средних фермерских хозяйств, производительностью от 0,8 до 5 т/ч готового комбикорма. В качестве уловителя мелкодисперсной мучной пыли на таких заводах используются тканевые фильтры в виде мешков, неспособных осуществить эффективную очистку воздуха.

Эффективность улавливания мелкодисперсного компонента не только влияет на здоровье работников и взрывоопасность помещений. Данный компонент может быть использован в качестве добавки в корма. Однако мелкодисперсный компонент, с одной стороны, опасен для животных, и его содержание в рассыпных кормах не должно превышать допустимые нормы. С другой стороны, он является ценной составляющей, с точки зрения полного использования потенциала зерновки, при производстве ферментированных кормов, например, зерновой

¹Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремин М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. М.: Евроклимат, 2003. 416 с.

²Бутковский В.А. Особенности работы мукомольных заводов России в современных условиях // Хлебопродукты. 2005. № 5. С. 2–4.

патоки³. Наличие мучной пыли в исходном сырье при производстве гранулированных и экструдированных кормов не влияет на качество готового продукта и не оказывает отрицательного влияния на здоровье животных.

Поэтому важно обеспечить высокую степень очистки воздуха с последующим депонированием и переработкой мучной пыли. Низкая эффективность улавливания мелкого компонента и обратный унос частиц пыли в выхлопной патрубков – наиболее актуальная и трудно решаемая проблема развития техники центробежного пылеуловителя, а следовательно, обеспечения экологической и пожарной безопасности предприятия и полного использования потенциала зерновки.

Похожей проблеме посвящена диссертация А.Г. Титова⁴, в которой отмечен вторичный унос пыли в выхлопной патрубков циклонов на промышленных предприятиях, а также при очистке сбросных газов от пыли в электроэнергетике и в экспериментах по уменьшению уноса [1]. В.В. Кузьмин, В.А. Марков, Д.И. Мисюля [2, 3] предприняли попытку решения проблемы вторичного уноса пыли в химической промышленности посредством внедрения определенных раскручивателей непосредственно в выходной патрубков циклона.

Объектом настоящих исследований является процесс сепарации транспортируемого материала от несущего газового потока в циклонных аппаратах на зерноперерабатывающих предприятиях.

Цель исследований – повысить эффективность сепарации в инерционном пылеуловителе за счет снижения обратного уноса пыли в выхлопной патрубков циклона.

Задачи исследования:

1. Провести анализ путей совершенствования циклонных пылеуловителей.
2. Разработать усовершенствованную конструкцию циклонного аппарата.

3. Экспериментально проверить эффективность предложенного технического решения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Решение поставленных задач основано на применении сравнительного критического анализа современного состояния уровня развития центробежной сепарации, методологии конструирования технологического оборудования, а также проведении экспериментальных исследований.

Для проверки эффективности работы различных конструкций циклонов на базе Инженерного института (кафедра механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции) Новосибирского государственного аграрного университета изготовлена экспериментальная установка (см. рис. 1).

Экспериментальная установка включает загрузочный бункер, в котором предусмотрены ворошитель (для исключения сводообразования) и регулируемая заслонка. Забор и транспортирование материала происходят за счет разряжения воздуха, создаваемого всасывающим вентилятором. Пневмотранспорт материала осуществлен пневмоприемником-отводом типа У2-БПО и материалопроводом, соединенным с исследуемым циклоном. Для оценки эффективности работы циклонов на выходной патрубков установлен автомобильный воздушный фильтр, взвешивание фильтрующего элемента которого позволило определить массу вынесенной пыли.

В качестве материала использовали дробленое зерно пшеницы влажностью 16%, полученное на молотковой дробилке ШИК Б-600 с установленными решетками, имеющими диаметр отверстий 3 мм. По результатам ситового анализа согласно ГОСТ 13496.8–72 (Комбикорма. Методы определения крупности размолотого и содер-

³Пшенов Е.А., Блёскин С.С., Нечаев Н.А. Повышение качества измельчения фуражного зерна молотковыми дробилками // Сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ, Новосибирск, 21–23 октября 2019 г. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2019. С. 112–114.

⁴Титов А.Г. Интенсификация процесса пылеулавливания в электроциклоне путем снижения вторичного уноса: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 05.17.08. Томск, 2014. 20 с.

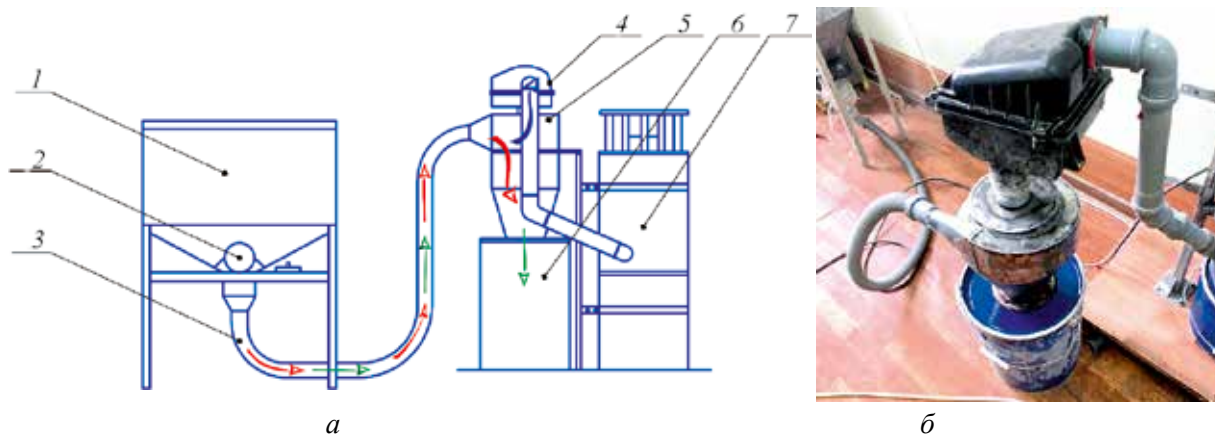


Рис. 1. Экспериментальная установка:

a – схема экспериментальной установки: 1 – загрузочный бункер; 2 – ворошитель; 3 – материалопровод; 4 – корпус воздушного фильтра; 5 – циклон; 6 – емкость для сбора отделяемого продукта; 7 – всасывающий вентилятор; *б* – общий вид экспериментальной установки

Fig. 1. Experimental unit:

a - experimental unit scheme: 1 - charging hopper; 2 - agitator; 3 - material conduit; 4 - air filter casing; 5 - cyclone; 6 - container for collecting separated product; 7 - suction fan; *б* - general view of an experimental unit

жания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений) определен средневзвешенный гранулометрический состав продукта: масса остатка на сите 3 мм – 2,3 г, 2 мм – 31,6 г, 1 мм – 42,1 г, поддон – 23,9 г.

Актуальность разработки

В качестве систем пылеулавливания наибольшее распространение для очистки пылегазового потока получили циклонные пылеуловители и рукавные фильтры⁵. Также существуют системы комбинированной очистки, в которых повышают эффективность работы рукавных фильтров путем включения циклона в схему пылегазовой очистки⁶. В промышленных предприятиях используют различные схемы систем очистки выбросов с применением циклонных пы-

леуловителей⁷. Области применения, основные конструктивные особенности, а также классификации существующих циклонов рассматриваются в работах [5, 6].

К основным преимуществам циклонных пылеуловителей относят следующее⁸:

- отсутствие движущихся частей;
- улавливаемость пыли в сухом виде;
- возможность улавливания абразивных пылей, для чего активные поверхности циклонов покрываются специальными материалами;
- возможность работы циклонов при высоких давлениях;
- гидравлическое сопротивление имеет стабильную величину;
- простота конструкции и возможность ремонта;

⁵Блескин, С.С. Пшенов Е.А. Эксплуатация циклонных пылеуловителей // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: Материалы XI региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 75-летию Инженерного института, Новосибирск, 11–12 ноября 2019 года. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2019. С. 38–41.

⁶Бушумов С.А., Короткова Т.Г. Повышение эффективности работы рукавных фильтров путем включения циклона в технологическую схему пылегазовой очистки // Сборник материалов международной научно-практической конференции, Краснодар, 21–22 июня: Устойчивое развитие, экологически безопасные технологии и оборудование для переработки пищевого сельскохозяйственного сырья. Краснодар: ООО «Экоинвест», 2016. С. 75–77.

⁷Кочетов О.С., Сошенко М.В., Зубкова В.М. Циклонные пылеуловители систем очистки выбросов // Закономерности и тенденции инновационного развития общества: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 6 частях, Магнитогорск, 20 декабря 2017 года. Магнитогорск: ООО "Аэтерна", 2017. С. 66–68.

⁸Преимущества и недостатки циклонов // КС-технологии элеваторное и мельничное оборудование URL: <http://ksmash.ru/priyemushchestva-i-nedostatki-tsiklonov> (дата обращения: 10.04.2022).

– повышение концентрации пыли не приводит к снижению фракционной эффективности аппарата.

К главным недостаткам можно отнести относительно высокое гидравлическое сопротивление, которое достигает 1250–1500 Па, и низкую эффективность при улавливании частиц размером < 5 мкм. Так, для повышения эффективности пылеулавливания полидисперсных частиц существуют следующие направления⁹ совершенствования центробежных аппаратов [4, 7], представленных на рис. 2.

Основным направлением работ по повышению качества пылеочистки является изменение общей конструкции устройства. Конструктивные формы циклонных пылеуловителей разнообразны. При этом существует определенная тенденция развития конусной части, так как форма циклона влияет на аэродинамику течений воздуха, возникающих в аппарате. В конусовидном циклоне



Рис. 2. Направления совершенствования центробежных аппаратов

Fig. 2. Directions for improvement of centrifugal machines

интерес вызывают распределение скоростей по радиусу циклона, а также изменение воздушных течений внутри устройства. Следовательно, с целью повышения качества очистки используют различные раскручивающие устройства и вставки, которые в одном случае уменьшают гидравлическое

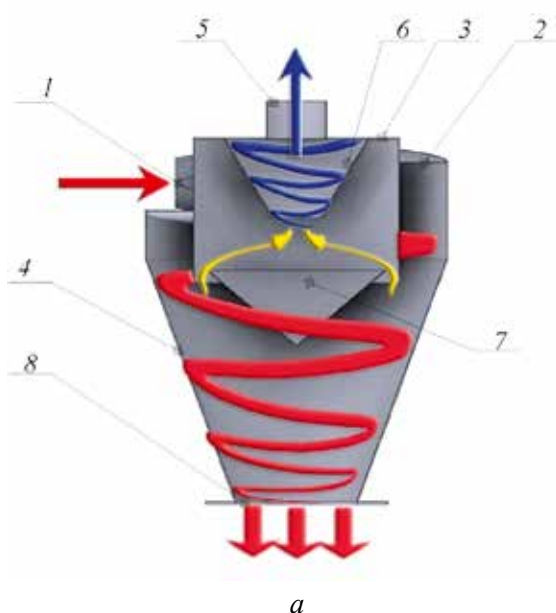


Рис. 3. Двухступенчатый циклон:

a – схема движения частиц в циклоне: 1 – входной патрубок; 2 – спиральная улитка; 3 – осевой патрубок; 4 – коническая часть корпуса; 5 – выходной патрубок; 6 – коническая вихревая воронка; 7 – отбойный конус; 8 – разгрузочное окно; *б* – общий вид предлагаемой конструкции спиральной улитки с отбойным конусом

Fig. 3. Two-stage cyclone

a - scheme of particles motion in a cyclone: 1 – supply nozzle; 2 - spiral volute; 3 - axial socket; 4 - conical body part; 5 - outlet nozzle; 6 - conical vortex funnel; 7 - baffle cone; 8 - unloading aperture; *б* - general view of the proposed design of the spiral volute with a baffle cone

⁹Чекалов Л.В., Гузаев В.А., Смирнов М.Е. Основные пути повышения эффективности работы газоочистного оборудования в цементной промышленности // Alitinform: Цемент.Бетон.Сухие смеси. 2008. № 3–4 (4–5). С. 28–37.

сопротивление, не изменяя качество фильтрации [8], а в другом случае увеличивают гидравлическое сопротивление. При этом незначительно повышается эффективность очистки.

Раскручивающие устройства устанавливаются на входном патрубке, нижней части циклона или на выходном патрубке. Причем от места установки зависит как качество, так и энергоэффективность пылеуловителя. Так, при установке дополнительных раскручивающих устройств на входном патрубке или на нижней части циклона происходит ощутимое понижение гидравлического сопротивления, приводящее к улетучиванию мелкого компонента в выхлопной патрубок, а при установке его на выходном патрубке – к незначительному падению давления [8]. Конструкции устройств для снижения энергопотребления, а также пути снижения энергопотребления циклонов посредством внедрения различных раскручивающих устройств и вторичным использованием инерции вихревого потока представлены в работах [9–11].

Предложение модели

На основании анализа современного состояния аппаратов для очистки газовой среды, используемых в комбикормовом производстве, разработан циклон с дополнительной ступенью очистки, установленной в выходном патрубке.

Предлагаемый циклон работает следующим образом (см. рис. 3, а). Разделяемый поток вводится в цилиндрический корпус циклона через входной патрубок в спиральную улитку. В спиральной улитке пылегазовый поток закручивается и направляется в коническую часть корпуса. Прямоугольное сечение входного патрубка и кольцевой канал, образованный осевым патрубком и внутренней стенкой спиральной улитки, создают направленный снисходящий поток вдоль внутренней стенки поверхности корпуса

циклона. При закручивании пылегазового потока возникает центробежная сила, под действием которой крупные частицы перемещаются по винтовой спирали в радиальном направлении вниз и по конической части корпуса уходят в разгрузочное окно.

Мелкие частицы пыли с восходящим потоком газа устремляются вверх и встречаются с отбойным конусом (см. рис. 3, б). Двигаясь по его образующей, частицы попадают в кольцевой канал между осевым патрубком и отбойным конусом. Коническая вихревая воронка создает область низкого давления вдоль оси циклона. Это приводит к резкому изменению направления потока газа в кольцевом канале. Частицы пыли, двигаясь по инерции, касаются внутренней стенки осевого патрубка и выпадают из потока.

Коническая вихревая воронка в верхней своей части имеет больший, а в нижней части – меньший диаметр, чем выходной патрубок. Таким образом, в воронке создается вихрь с переменной окружной скоростью. Частицы пыли, увлекаемые получившимся вихрем, под действием центробежной силы вращаются на большем диаметре, чем выходной патрубок, и не выносятся из циклона. Очищенный газовый поток выходит через выходной патрубок¹⁰.

Методика проведения сравнительных испытаний

Предварительно определено максимальное положение заслонки загрузочного бункера, при котором происходит стабильное пневмотранспортирование подаваемого материала в циклоны. Также предварительно определено минимальное положение заслонки, способствующее стабильной подаче материала в пневмоприемник-отвод. После чего между минимальным и максимальным положениями отмечено три промежуточных, что в совокупности составило пять вариантов нагрузки по материалу на циклоны.

¹⁰Патент на полезную модель № 208117 U1 Российская Федерация, МПК В04С 9/00, В01D 45/12. Циклон : № 2021106836 : заявл. 15.03.2021 :опубл. 03.12.2021 / Е. А. Пшенов, А. А. Мезенов, М. Л. Вертей, А.А. Диденко, С.С. Блещкин, А.Г. Христенко; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский государственный аграрный университет".

Эксперимент проводили в трехкратной повторности на пяти положениях заслонки загрузочного бункера. Перед каждой повторностью взвешивалась исходная масса материала (около 11 кг). Для определения нагрузки по материалу на циклон засекали время от начала открытия заслонки до полного прохождения дробленого зерна в системе пневмотранспорта.

В качестве критерия эффективности сепарации выбран общий коэффициент улавливания циклоном η . Так как исходный материал представлен четырьмя фракциями, то η определяется по формуле

$$\eta = 1 - \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4,$$

где $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – коэффициенты улавливания фракции соответственно: более 3 мм, от 3 до 2 мм, от 2 до 1 мм и менее 1 мм.

Коэффициент улавливания $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ характеризуется отношением количества фактически уловленных частиц M_{y-i} к его количеству в исходной смеси M_{0-i} , находится по формуле

$$\eta_{1-4} = M_{y-i} / M_{0-i}.$$

Перед каждой повторностью разбирали автомобильный фильтр, фильтрующий элемент продували сжатым воздухом и взвешивали, после проведения очередного эксперимента производили повторное взвешивание для определения массы вынесенной пыли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенных сравнительных испытаний получены следующие зависимости, представленные на графике (см. рис. 4).

При обработке полученных результатов определено, что коэффициенты улавливания η_1, η_2 и η_3 для фракций более 3 мм, от 3 до 2 мм и от 2 до 1 мм для всех трех циклонов равны 1. Тогда определяющим становится коэффициент улавливания η_4 . С учетом того, что при ситовом анализе масса навески составляла 100 г, то масса фракции менее 1 мм в поддоне является массовой долей компонента в смеси и составляет 23,9%, что соответствует $M_0 = 2629$ г мучной пыли в исходной смеси массой 11 кг.

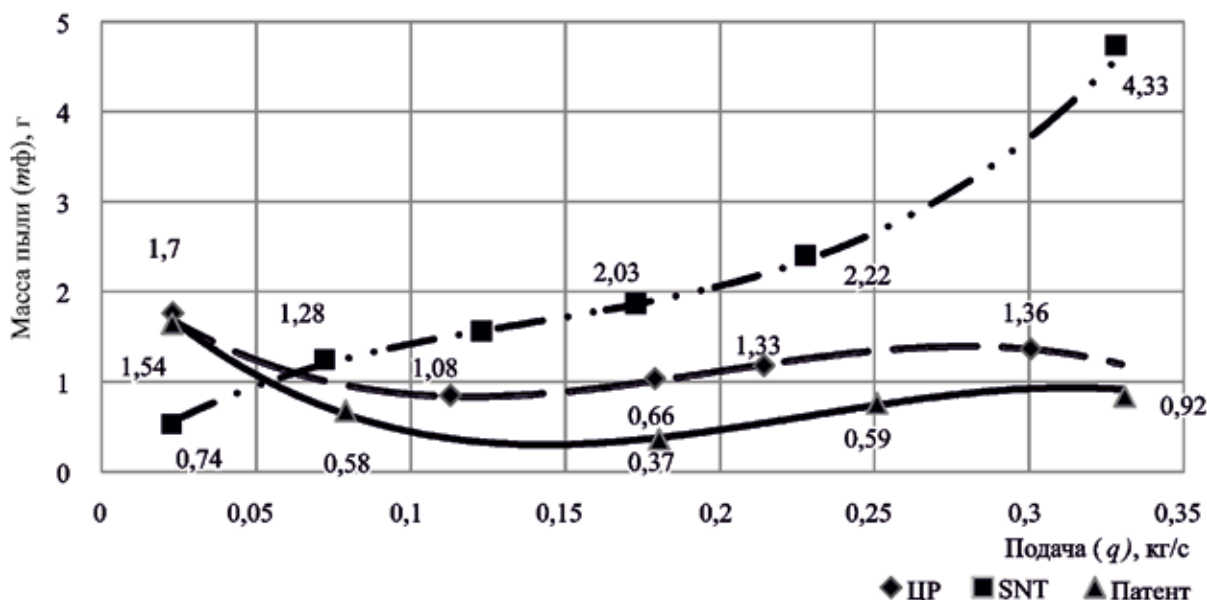


Рис. 4. Результаты сравнительных испытаний циклонов:

mф – масса пыли, оставшейся на фильтре; q – подача материала в циклон;

Патент – предложенное конструкторское решение циклона.

Fig. 4. Results of the comparative cyclone tests:

mф – mass of the dust remaining on the filter; q – feeding the material into the cyclone;

Patent – the proposed cyclone design solution.

По данным исследования, циклон разгрузитель ЦР показал практически стабильную работу в изученном диапазоне подачи материала. Отмечено повешение эффективности при нагрузке по материалу 0,16 кг/с, масса вынесенной пыли составила 0,66 г, что соответствует $\eta = \eta_4 = 0,99975$.

Циклон SNT показал наилучший результат при малых концентрациях материала (0,026 кг/с) – 0,74 г ($\eta = 0,99972$). Однако по мере увеличения подачи материала масса пыли, выносимая в выходной патрубке, также увеличивалась и достигла 4,33 г ($\eta = 0,99835$) при подаче 0,32 кг/с. Это свидетельствует о том, что его конструктивное исполнение можно отнести к пылеуловителям, работающим на небольших концентрациях пыли.

Предлагаемый двухступенчатый циклон, напротив, на малых концентрациях показал наихудший результат (около 1,7 г) пыли, вынесенной в выходной патрубке ($\eta = 0,99935$), а по мере увеличения нагрузки показал наилучшие результаты в оставшемся диапазоне по сравнению с испытываемыми образцами. Так, при подаче 0,33 кг/с, масса вынесенной пыли составила 0,92 г ($\eta = 0,99965$), что на 32% меньше ближайшего аналога циклона разгрузителя ЦР 1,36 г ($\eta = 0,99948$) при одинаковых начальных условиях.

ВЫВОДЫ

1. По результатам анализа способов совершенствования центробежных пылеуловителей выделено направление, связанное с установкой дополнительных завихрителей в выходном патрубке циклонов для увеличения крутки потока и повышения степени очистки газа от мелких частиц.

2. На основании анализа конструкций современных циклонных аппаратов разработано техническое решение в виде двухступенчатого циклона для повышения эффективности работы миникомбикормового завода.

3. Экспериментально установлено, что предложенную конструкцию двухступенчатого циклона следует отнести к циклонам разгрузителям, работающим на больших концентрациях материала.

4. В исследуемом диапазоне (от 0,026 до 0,33 кг/с) по транспортируемому материалу эффективность двухступенчатого циклона была выше, чем у серийно выпускаемых циклонов разгрузителей ЦР ($\eta = 0,9998–0,99965$).

Таким образом, дальнейшие исследования будут направлены на определение гидравлического сопротивления циклона, а также определение рациональных конструктивно-режимных параметров разрабатываемого циклона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инюшкин Н.В., Ермаков С.А., Гильванова З.Р., Титов А.Г., Коробкова И.В., Аитова А.И. Планирование эксперимента по улавливанию дисперсных частиц в электроциклоне // Технические науки – от теории к практике. 2013. Т. 17, № 2. С. 33–37.
2. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Применение лопастного раскручивателя в циклонных пылеуловителях // Труды БГТУ. 2011. № 3. С. 162–169.
3. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Разработка раскручивающего устройства для циклонных аппаратов и определение его параметров // Теоретические основы химической технологии. 2013. № 3. С. 331.
4. Чистяков Я.В., Муратова К.М., Васильев П.В. Повышение эффективности отделения мелкодисперсной пыли в центробежно-инерционных аппаратах пылеулавливания // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2015. № 3. С. 42–51.
5. Петров В.И., Фатихов И.Ф., Сизов А.Г., Никитин А.С. Анализ эффективности работы циклонных пылеуловителей // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 23. С. 173–175.
6. Замалиева А.Т., Зиганишин М.Г. Сравнительный анализ технических характеристик циклонов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. Т. 4. № 3. С. 18–24.
7. Чалов В.А., Куцев Л.А. Повышение эффективности использования аппаратов сухого инерционного пылеулавливания // Механика XXI века. 2011. № 10. С. 27–30.
8. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Конструктивные особенности раскручивающих устройств для циклонов // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2011. № 3. С. 153–161.

9. Мисюля Д.И. Новые конструкции устройств для снижения энергопотребления циклонных пылеуловителей // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2012. № 1. С. 57–61.
10. Мисюля Д.И., Кузьмин В.В., Марков В.А. Пути снижения энергопотребления циклонов // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2011. Т. 4, № 96. С. 74–88.
11. Кузьмин В.В., Мисюля Д.И., Марков В.А. Снижение энергетических и экономических затрат при использовании циклонов НИИОГАЗ // Энергоэффективность. 2011. № 2. С. 14–16.

REFERENCES

1. Inyushkin N.V., Ermakov S.A., Gil'vanova Z.R., Titov A.G., Korobkova I.V., Aitova A.I. Experiment planning for dispersed particles capturing in electro cyclone. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike = Technical sciences – from theory to practice*, 2013, vol. 17, no 2, pp. 33–37. (In Russian).
2. Misyulya D.I., Kuz'min V.V., Markov V.A. Application of a bladed spinner in cyclone dust collectors. *Trudy BGTU = Proceedings of BSTU*, 2011, no 3, pp. 162–169. (In Russian).
3. Misyulya D.I., Kuz'min V.V., Markov V.A. Developing of an untwisting device for cyclones and estimation of its parameters. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii = Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2013, no. 3, p. 331. (In Russian).
4. Chistyakov Ya.V., Muratova K.M., Vasil'ev P.V. Improving separation of fine-dispersed dust in centrifugal-inertial dust collection devices. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle = Proceedings of the Tula State University- Sciences of Earth*, 2015, no. 3, pp. 42–51. (In Russian).
5. Petrov V.I., Fatikhov I.F., Sizov A.G., Nikitin A.S. Analysis of cyclone dust collector efficiency. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*, 2013, no. 23, pp. 173–175. (In Russian).
6. Zamalieva A.T., Ziganshin M.G. Comparative analysis of technical characteristics of cyclones. *Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunal'naya infrastruktura = Housing and utilities infrastructure*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 18–24. (In Russian).
7. Chalov V.A., Kushchev L.A. Increasing the Efficiency of Dry Inertial Dust Collecting Devices. *Mekhaniki XXI veku = Mechanical engineers to XXI century*, 2011, no 10, pp. 27–30. (In Russian).
8. Misyulya D.I., Kuz'min V.V., Markov V.A. Design philosophy of untwisting devices for cyclones. *Trudy BGTU. №3. Khimiya i tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv = Proceedings of BSTU. Chemistry and Technology of Inorganic Substances*, 2011, no 3, pp. 153–161. (In Russian).
9. Misyulya D.I. New designs of devices for a decrease in power consumption of cyclone dust collectors. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya = Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*, 2012, no. 1, pp. 57–61. (In Russian).
10. Misyulya D.I. Kuz'min V.V., Markov V.A. Ways of decrease in power consumption of cyclone separators. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal Al'ternativnaya energetika i ekologiya = International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*, 2011, vol. 4. no. 96, pp. 74–88. (In Russian).
11. Kuz'min V.V., Misyulya D.I., Markov V.A. Reducing energy and economic costs when using НИОГАЗ cyclones. *Energoeffektivnost' = Energy Efficiency*, 2011, no 2, pp. 14–16. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пшенов Е.А., кандидат технических наук, доцент

✉ **Блёскин С.С.**, аспирант; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: Moonlait2510@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Evgenii A. Pshenov, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor

✉ **Sergey S. Bleskin**, Postgraduate Student; **address:** 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: Moonlait2510@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 29.06.2022

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 13.10.2022

Дата публикации / Published 20.03.2023



ПОДБОР ИНТРОГРЕССИВНЫХ ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ И ТРИТИКАЛЕ ПО КАЧЕСТВУ ЗЕРНА И УСТОЙЧИВОСТИ К БОЛЕЗНЯМ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРГАНИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

✉ Ержебаева Р.С., Абекова А.М., Базылова Т.А., Масимгазиева А.С.,
Мереева Т.Д., Кожахметов К.К., Бастаубаева Ш.О., Слямова Н.Д.

Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства
Алматинская область, пос. Алмалыбак, Республика Казахстан

✉ e-mail: raushan_2008@mail.ru

Изучены 17 интрогрессивных линий и сортов озимой пшеницы и 2 линии озимой тритикале (коллекция Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства) для определения возможности их применения в органическом земледелии. Исследования проведены в 2021, 2022 гг. в предгорной зоне юго-востока Республики Казахстан на базе научно-полевого стационара Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства. Анализ на содержание генетически модифицированных источников показал отсутствие в пробах регуляторных элементов 35S и NOS. Осуществленная методом ПЦР ДНК-идентификация с целью обнаружения эффективных генов бурой, стеблевой и желтой ржавчины (*Lr9*, *Lr26/Sr31/Yr9*, *Lr34/Yr18/Sr57*, *Lr35/Sr39*, *Sr2*, *Sr36*) позволила выделить четыре образца (1633-40, 1675-170, 1723-11, 2041-7) с ценными генами *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* и один образец (1127-7) с генами *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*. Фитопатологическая оценка устойчивости зерновых культур выполнена на естественном фоне по соответствующим шкалам учета пораженности растений бурой стеблевой и желтой ржавчиной. В результате обнаружены девять устойчивых к двум видам ржавчины (бурая и желтая) образцов с типом реакции R и нулевым процентом поражения (1127-7, 1675-170, 1676, 2005-13, 2041-13, 2046-1, KZ231, T-409-1, T-989-1). Стеблевая ржавчина в годы исследований не была зафиксирована. Оценка качества зерна проведена на основании требований соответствующих ГОСТов по следующим параметрам: натура зерна, стекловидность, содержание протеина и клейковины, качество клейковины. Установлено, что все рассматриваемые образцы по показателям стекловидности и содержанию клейковины соответствуют классу сильных пшениц. Выделены образцы с высокими показателями натуры зерна (≥ 800 г/л; 1674-27, 1675-149, 1675-170), содержания белка ($\geq 16\%$; 2041-13, 2005-13, 2041-7, 1716-24, 1675-149, 1127-7, 1633-31, 1717-27, KZ231), качества и количества клейковины (1127-7, KZ231). По итогам комплексной оценки отмечены две линии (1127-7, KZ231), продемонстрировавшие хорошую устойчивость к двум видам ржавчины и высокое качество зерна. Данные линии рекомендованы для использования в органическом земледелии.

Ключевые слова: интрогрессивные линии пшеницы, генетически модифицированные источники, качество зерна, устойчивость к болезням, ДНК-идентификация

SELECTION OF INTROGRESSIVE WHEAT AND TRITICALE LINES FOR GRAIN QUALITY AND RESISTANCE TO DISEASES FOR USE IN ORGANIC FARMING

✉ Yerzhebaeva R.S., Abekova A.M., Bazylova T.A., Massimgaziyeva A.S., Mereyeva T.D.,
Kozhakhmetov K.K., Bastaubayeva Sh.O., Slyamova N.D.

Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing
Almalybak, Almaty region, Republic of Kazakhstan

✉ e-mail: raushan_2008@mail.ru

17 introgressive lines and varieties of winter wheat and 2 lines of winter triticale (collection of the Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing) were studied to determine the

possibility of their use in organic farming. The studies were conducted in 2021–2022 in the foothill zone of the south-east of the Republic of Kazakhstan on the basis of the research field stationary of the Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing. Analysis for genetically modified sources showed the absence of 35S and NOS regulatory elements in the samples. DNA identification by PCR to detect effective brown, stem and yellow rust genes (*Lr9*, *Lr26/Sr31/Yr9*, *Lr34/Yr18/Sr57*, *Lr35/Sr39*, *Sr2*, *Sr36*) made it possible to identify 4 samples (1633-40, 1675-170, 1723-11, 2041-7) with valuable *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* genes and 1 sample (1127-7) with *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8* genes. Phytopathological assessment of the resistance of cereal crops was carried out on the natural background using the appropriate scales of recording the infestation of plants by brown stem rust and yellow rust. As a result, 9 samples resistant to 2 types of rust (brown and yellow) with reaction type R and zero percent were found (1127-7, 1675-170, 1676, 2005-13, 2041-13, 2046-1, KZ231, T-409-1, T-989-1). Stem rust in the years of research was not recorded. Grain quality assessment was carried out on the basis of the requirements of relevant GOSTs on the following parameters: grain nature, vitreousness, protein and gluten content, gluten quality. It was found that all the samples under consideration in terms of vitreousness and gluten content correspond to the class of strong wheat. Samples with high grain natures (≥ 800 g/l; 1674-27, 1675-149, 1675-170), protein content ($\geq 16\%$; 2041-13, 2005-13, 2041-7, 1716-24, 1675-149, 1127-7, 1633-31, 1717-27, KZ231), quality and quantity of gluten (1127-7, KZ231) were selected. According to the results of comprehensive evaluation, 2 lines (1127-7, KZ231), which showed good resistance to 2 types of rust and high grain quality, were noted. These lines are recommended for use in organic farming.

Keywords: introgressive wheat lines, genetically modified sources (GMS), grain quality, disease resistance, DNA identification

Для цитирования: Ержебаева Р.С., Абекова А.М., Базылова Т.А., Масимгазиева А.С., Мереева Т.Д., Кожакметов К.К., Бастаубаева Ш.О., Слямова Н.Д. Подбор интрогрессивных линий пшеницы и тритикале по качеству зерна и устойчивости к болезням для использования в органическом земледелии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 110–120. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-14>

For citation: Yezhebaeva R.S., Abekova A.M., Bazyllova T.A., Massingaziyeva A.S., Mereyeva T.D., Kozhakhmetov K.K., Bastyubayeva Sh.O., Slyamova N.D. Selection of introgressive wheat and triticale lines for grain quality and resistance to diseases for use in organic farming. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 110–120. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-14>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследования проведены в рамках бюджетной программы 267 «Повышение доступности знаний и научных исследований», подпрограммы 101 «Программно-целевое финансирование научных исследований и мероприятий» Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, программы BR10764907 «Выработка технологий ведения органического сельского хозяйства по выращиванию сельскохозяйственных культур с учетом специфики регионов, цифровизации и экспорта» на 2021–2023 гг.

Acknowledgements

The studies were carried out within the framework of the budget program 267 of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan «Improving the availability of knowledge and scientific research», subprogram 101 «Program-targeted financing of scientific research and activities», under the IRN program BR10764907 «Development of technologies for organic agriculture for growing crops, taking into account the specifics of the regions, digitalization and export» for 2021–2023.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница – стратегически значимая зерновая культура Казахстана. Площадь ее возделывания в республике в 2021 г. составила 12 863,8 тыс. га¹. Стабильное увеличение производства зерна пшеницы является од-

ним из важных направлений обеспечения продовольственной безопасности страны. Оно активно используется в продовольственных, кормовых и технических целях. Большая вовлеченность этой культуры в производственный процесс, обширные пло-

¹Агентство по стратегическому планированию и реформам Бюро национальной статистики Республики Казахстан: офиц. сайт. URL: <https://stat.gov.kz/>

щади посевов, значительная доля в рационе питания человека делают проблему производства органической пшеницы весьма актуальной. Важны такие свойства пшеницы, как высокая питательная ценность, вкус, устойчивость к болезням и экологическая пластичность. Поскольку основная часть современных сортов выведена для традиционного земледелия, сторонникам органического земледелия приходится искать или даже создавать собственные сорта, которые хорошо работают в органических системах² [1].

Запас генетического материала мягкой пшеницы, контролирующего устойчивость к воздействию вредных факторов, в настоящее время практически исчерпан. Ограничение разнообразия генов создает благоприятные для развития болезней условия, что служит одним из лимитирующих факторов селекционной работы³ [2, 3]. Богатейший запас генетического разнообразия представлен в генофонде диких видов и сородичей пшеницы. Многие из них успешно использованы для передачи полезных признаков (устойчивость к болезням, засухо- и солеустойчивость, зимостойкость, высокое содержание белка) мягкой и твердой пшенице⁴. Эффективность привнесения высокой устойчивости к болезням от диких сородичей доказана рядом исследователей [4, 5]. Линии и сорта пшеницы с хорошей устойчивостью к болезням являются ценным материалом для органического земледелия в связи с запретом на использование пестицидов, синтетических минеральных удобрений, регуляторов роста и генетически модифицированных организмов (ГМО).

В Казахском научно-исследовательском институте земледелия и растениеводства

(КазНИИЗиР) создан уникальный константный материал озимой и яровой пшеницы с участием *T. militinae* Zhuk., *T. timopheevii* Zhuk., *T. kiharae* Dorof. et Migusch., *Ae. cylindrica* L., *Ae. triaristata* Willd [6], который может быть апробирован в условиях органического земледелия.

Цель исследования – изучение интрогрессивных линий озимой пшеницы и тритикале по качеству зерна, устойчивости к болезням, отсутствию генетической модификации для использования в органическом земледелии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для эксперимента послужила коллекция из 17 интрогрессивных линий и сортов озимой пшеницы и 2 линий озимой тритикале, подобранная специалистами КазНИИЗиР. В качестве положительного контроля в процессе ПЦР-идентификации использованы изогенные линии пшеницы с генами *Lr9*, *Lr26*, *Lr34*, *Lr35*, *Sr36*, *Sr39*, *Sr2*, полученные в лаборатории иммунитета и защиты растений КазНИИЗиР (материал СИММИТ).

Опыты по фитопатологической оценке коллекции интрогрессивных линий пшеницы и тритикале на устойчивость к грибным болезням проводились в 2021, 2022 гг. на естественном фоне научных полевых стационаров КазНИИЗиР, расположенных в предгорной зоне Алматинской области (43° с.ш., 77° в.д., 740 м над уровнем моря).

Оценка устойчивости к возбудителю стеблевой ржавчины осуществлялась по шкале Стэкмана и Левина⁵, листовой – по шкале Майнса и Джексона⁶, желтой – по шкале Гасснера и Штрайба⁷. Степень поражения

²Чудинов В.А., Савин Т.В., Кожрахметов К.К., Абуғалиева А.И. Устойчивые к болезням дигиплоидные и интрогрессивные линии пшеницы для органического земледелия // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. Иркутск, 2018. С. 1008–1011.

³Rsaliev Sh.S., Koyshybaev M.K., Morgunov A.I., Kolmer D. Analysis of the composition of the stem and leaf rust of wheat in Kazakhstan // Modern Problems of Plant Protection and Quarantine: Collection of articles of the Int. scientific-practical conf. Almaty, 2005. P. 267–272.

⁴Давоян Р.О. Использование генофонда дикорастущих сородичей в улучшении мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): автореф. ... д-ра биол. наук. Краснодар, 2003. 50 с.

⁵Stakman E.C., Stewart D.M., Loegering W.Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici* (U.S. Dep. Agric. Agric. Res. Serv. E-617). Washington, 1962. 154 p.

⁶Mains E.B., Jackson H.C. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia tritici* Erikss. // Phytopath. 1926. Vol. 16. N 1. P. 89–120.

⁷Gassner G., Straub W. Die bestimmung der biologischen rassen des weizengelbrostes (*Puccinia glumarum* f. sp. *tritici* (Schmidt.) Erikss. und Henn.) // Arbeiten der Biologischen Reichsanstalt für Land und Forstwirtschaft. Berlin, 1932. Bd. 20. S. 141–163.

определялась по шкале Петерсона⁸. В качестве стандарта использовали восприимчивые сорта пшеницы – Саратовская 29 и Могоссо. Учет вели с момента проявления болезни каждые 10 сут до фазы молочно-восковой спелости зерна.

Геномную ДНК выделяли из 2-го листа 11–12-дневных проростков тритикале с помощью методики S.L. Delaporta⁹.

Анализ содержания генетически модифицированных источников (ГМИ) проводили согласно СТ РК1346–2005¹⁰. Применялся метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) с целью обнаружения мишеней – 35S промотора (из вируса мозаики цветной капусты (CaMV 35S)), терминатора NOS (из *Agrobacterium tumefaciens*). В качестве положительного (ERM-BF410ер) и отрицательного (ERM-BF410ар) контроля использованы сертифицированные стандартные образцы сои (эталонные образцы).

Идентификация носителей генов устойчивости также осуществлялась методом ПЦР. Анализ проводили в амплификаторе «Eppendorf Mastercycler pro» (Германия). Были использованы молекулярные маркеры к генам *Lr9*^{11,12}, *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*^{13,14},

*Lr34/Yr18/Sr57/Pm38*¹⁵, *Lr35/Sr39*¹⁶ [7], *Sr2*¹⁷ [8], *Sr36*¹⁸. Реакционная среда для ПЦР-амплификации состояла из: 2 мкл (50 ng) исследуемой ДНК, 2 мкл реакционного буфера (10 × TagBuffer), 1 мкл dNTP (4 mM) – смесь четырех dNTP, 250 μM каждого из двух праймеров, 2 мкл (25 mM) MgCl₂, 0,5 мкл (5u/μl) *Taq*-полимеразы (ООО «Биосан», г. Новосибирск, Россия), 10,7 мкл стерильной воды, свободной от нуклеазы (Biotechnology Grade).

Разделение продуктов амплификации проводили в 1,5–2,0%-х агарозных гелях («Sigma Life Science», США), а также в 8%-м акриламидном геле («Sigma Life Science», Китай), окрашенных бромистым этидием. Визуализацию продуктов амплификации осуществляли в геледокументирующей камере (QUANTUMST 4, Франция). В качестве маркеров молекулярных весов использовали ДНК-маркеры «Step50 plus» и «Step100» (ООО «Биолабмикс», г. Новосибирск, Россия).

Для анализа качества зерна применяли образцы из урожая 2020 и 2021 гг. Оценку натурности зерна проводили по ГОСТ 10840–64¹⁹, стекловидности – по ГОСТ 10987–76²⁰.

⁸Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canadian Journal of Research. 1948. Vol. 26. N 5. P. 496–500.

⁹Delaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. A plant DNA miniprep. Version II // Plant Molecular Biology Reporter. 1983. Vol. 4. P. 19–21.

¹⁰СТ РК1346–2005 (ГОСТ Р 52173–2003). Метод идентификации генетически модифицированных источников (ГМИ) растительного происхождения. Астана, 2006.

¹¹Schachermayer G., Siedler H., Gale M.D. Identification and localization of molecular markers linked to the *Lr9* leaf rust resistance gene of wheat // Theoretical and Applied Genetics. 1994. Vol. 88. P. 110–115.

¹²Gupta S.K., Charpe A., Koul S., Prabhu K.V., Haq Q.M. Development and validation of molecular markers linked to an *Aegilops umbellulata*-derived leaf-rust-resistance gene, *Lr9*, for marker-assisted selection in bread wheat // Genome. 2005. Vol. 48. N 5. P. 823–830.

¹³Mago R., Spielmeier W., Lawrence G.J., Lagudah E.S., Ellis J.G., Pryor A. Identification and mapping markers linked to rust resistance genes located on chromosome 1RS of rye using wheat-rye translocation lines // Theoretical and Applied Genetics. 2002. Vol. 104. P. 1317–1324.

¹⁴Mago R., Miah H., Lawrence G.J., Wellings C.R., Spielmeier W., Bariana H.S., McIntosh R.A., Pryor A.J., Ellis J.G. High-resolution mapping and mutation analysis separate the rust resistance genes *Sr31*, *Lr26* and *Yr9* on the short arm of rye chromosome 1 // Theoretical and Applied Genetics. 2005. Vol. 112. P. 41–50.

¹⁵Lagudah E.S., McFadden H., Singh R.P., Huerta-Espino J., Bariana H.S., Spielmeier W. Molecular genetic characterisation of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2006. Vol. 114. P. 21–30.

¹⁶Gold J., Harder D., Townley-Smith F., Aung T., Procinier J. Development of a molecular marker for rust resistance genes *Sr39* and *Lr35* in wheat breeding lines // Electronic Journal Biotechnology. 1999. Vol. 2. N 1. P. 35–40.

¹⁷Hayden M.J., Kuchel H., Chalmers K.J. Sequence tagged microsatellites for the *Xgwm533* locus provide new diagnostic markers to select for the presence of stem rust resistance gene *Sr2* in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2004. Vol. 109. P. 1641–1647.

¹⁸Hayden M.J., Sharp P.J. Sequence-tagged microsatellite profiling (STMP): a rapid technique for developing SSR markers // Nucleic Acids Research. 2001. Vol. 29. P. 43.

¹⁹ГОСТ 10840–64. Зерно. Методы определения натурности. М.: Стандартинформ, 2009.

²⁰ГОСТ 10987–76. Зерно. Методы определения стекловидности. М.: Стандартинформ, 2009.

Содержание белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 10846–91²¹. Оценку количества и качества содержащейся в муке клейковины осуществляли в лабораторных условиях согласно ГОСТ 27839–2013²². Для отмывания клейковины применяли систему МОК-1, для оценки качества – прибор ИДК-4М (измеритель деформации клейковины). Среднее значение ($\bar{X}$) и стандартное отклонение (σ) рассчитывали с помощью программы Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идентификация ГМО. В целях подтверждения того, что в составе рассматриваемых образцов отсутствуют ГМО, проведен ПЦР-анализ на содержание ГМИ (по СТ РК1346–2005). Данный метод направлен на обнаружение регуляторных элементов, которые являются наиболее часто используемыми в генно-инженерных конструкциях: 35S промотора вируса мозаики цветной капусты (CaMV 35S) и терминатора NOS (из *Agrobacterium tumefaciens*). ПЦР-идентификация показала, что характерные фрагменты длиной 195 п. н. для 35S и 190 п. н. для NOS не обнаружены ни в одном из изученных образцов. Наличие хотя бы

одного из них позволяет говорить о присутствии генно-модифицированной вставки. Амплификация фрагментов по 35S и NOS происходила только с продукцией, содержащей ГМИ, у эталонных образцов. Результаты идентификации ГМИ методом ПЦР при обследовании 19 образцов представлены в таблице. На рис. 1 приведены данные ПЦР-анализа девяти образцов.

Идентификация ценных генов устойчивости к грибным болезням. Проведен молекулярный анализ с использованием метода ПЦР на обнаружение эффективных генов бурой (*Lr*-), стеблевой (*Sr*-) и желтой (*Yr*-) ржавчины (*Lr9*, *Lr26/Sr31/Yr9*, *Lr34/Yr18/Sr57*, *Lr35/Sr39*, *Lr34*, *Sr2*, *Sr36*) у 17 интрогрессивных линий озимой пшеницы и двух линий тритикале.

В ходе ПЦР-анализа по выявлению носителей гена *Lr9* использованы два маркера – *J13* и *SCS5*. Установлено, что амплификация ожидаемых фрагментов длиной 1100 и 550 п. н. соответственно зафиксирована только у положительного контроля *Phyton Lr9*.

Гены *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*, ответственные за устойчивость к бурой, стеблевой и желтой ржавчине, а также мучнистой росе, соответственно локализируются на

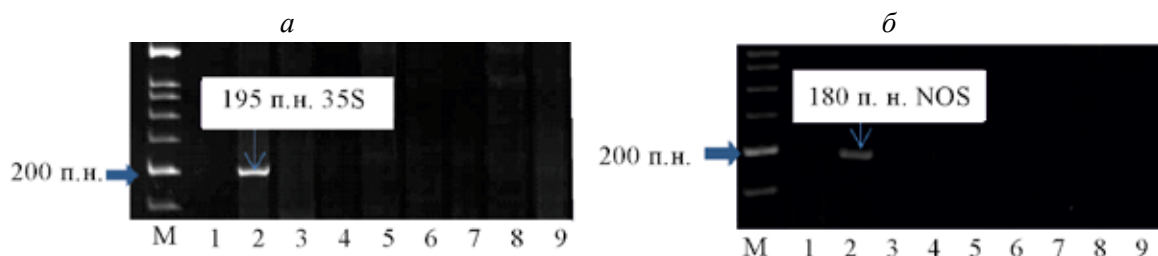


Рис. 1. Результаты идентификации регуляторных элементов 35S и NOS у образцов интрогрессивных линий озимой пшеницы и тритикале:

a – с маркером на 35S; *б* – с маркером на NOS

М – ДНК-маркер Step50 plus (1500 п. н.); 1 – стандартный образец ERMBF410ар (отрицательный контроль);

2 – стандартный образец ERM-BF410ер (положительный контроль); 3 – холостая проба (H_2O); 4 – 1716-24; 5 – 1717-27; 6 – 1723-11; 7 – 2005-13; 8 – 2041-7; 9 – 2041-13

Fig. 1. Results of identification of regulatory elements 35S and NOS in accessions of introgressive lines of winter wheat and triticale:

a – with a marker at 35S; *б* – with a marker on NOS

M – DNA marker Step50 plus (1500 bp); 1 – Standard sample ERMBF410ap (negative control); 2 – Standard sample ERM-BF410ep (positive control); 3 – Blank sample (H_2O); 4 – 1716-24; 5 – 1717-27; 6 – 1723-11; 7 – 2005-13; 8 – 2041-7; 9 – 2041-13

²¹ГОСТ 10846–91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М.: Стандартинформ, 2009.

²²ГОСТ 27839–2013. Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. М.: Стандартинформ, 2014.

Результаты оценки интрогрессивных линий озимой пшеницы и тритикале по устойчивости к ржавчине и качеству зерна
Results of evaluation of introgressive lines of winter wheat and triticale in terms of rust resistance and grain quality

Номер каталога	Происхождение	ГМО м-шени	Степень поражения, тип реакции устойчивости к ржавчине		Гены устойчивости к грибным болезням					На-тура, г/л	Стек-ловид-ность, %	Про-те-ин, %	Клей-кови-на, %	ИДК, ед.
			бурая	желтая	Lr9	Lr26/ Sr31/Yr9/ Pm8	Lr34/ Yr18/ Sr57/ Pm38	Lr35/ Sr39	Sr2, Sr36					
1127-7	Пржевальская × АД 221-10 Япония	–	0R	0R	–	+	–	–	–	707	71,0	16,3	34,8	80,0
1633-31	(Безостая 1 × <i>Ae. triaristata Willd</i>) × Безостая 1	–	5–10R	0R	–	+	–	–	–	774	73,0	16,3	49,4	115,0
1633-40	(Безостая 1 × <i>Ae. triaristata Willd</i>) × Безостая 1	–	1–5R	0R	–	–	+	–	–	789	62,0	15,4	47,0	120,0
1674-27	(Жетысу × <i>T. kiharae</i>) × Алмалы	–	15–20MR	0R	–	–	–	–	–	825	74,5	13,6	42,4	92,5
1675-149	(Эритроспермум 350 × <i>T. kiharae</i>) × Эритроспермум 350	–	20–25MR	0R	–	–	–	–	–	815	80,6	16,4	47,7	106,0
1675-170	(Эритроспермум 350 × <i>T. kiharae</i>) × Эритроспермум 350	–	0R	0R	–	–	+	–	–	807	78,0	15,9	44,0	91,6
1676	Стекловидная 24 × <i>T. timopheevii</i>	–	0R	0R	–	+	–	–	–	762	68,6	15,9	46,1	106,6
1716-23	(Безостая 1 × <i>Ae. cylindrica</i>) × Карлыгаш	–	40–50MS	20–25MR	–	–	–	–	–	770	72,0	13,7	44,0	105,0
1716-24	(Безостая 1 × <i>Ae. cylindrica</i>) × Карлыгаш	–	40–50MS	0R	–	–	–	–	–	790	66,0	17,0	47,0	95,0
1717-27	(Безостая 1 × <i>Ae. cylindrica</i>) × Стекловидная 24	–	5–10R	0R	–	+	–	–	–	742	75,0	16,1	42,6	95,0
1723-11	(Безостая 1 × <i>Ae. cylindrica</i>) × <i>T. kiharae</i>	–	15–20MR	0R	–	–	+	–	–	772	69,5	14,5	43,4	107,5
2005-13	(Эритроспермум 121 × <i>Ae. triaristata Willd</i>) × Эритроспермум 121	–	0R	0R	–	+	–	–	–	763	83,0	17,3	49,6	105,0
2041-7	(ПЭГ 347 × <i>T. kiharae</i>) × Жадыра	–	10–15MR	0R	–	–	+	–	–	763	83,0	17,3	49,6	105,0
2041-13	(ПЭГ 347 × <i>T. kiharae</i>) × Жадыра	–	0R	0R	–	–	–	–	–	761	67,0	19,0	59,0	105,0
2046-1	(Стекловидная 24 × <i>T. timopheevii</i>) × Карлыгаш	–	0R	0R	–	–	–	–	–	798	63,6	15,1	44,9	110,0
KZ231	(Безостая 1 × <i>Ae. triaristata Willd</i>) × Карлыгаш	–	0R	0R	–	–	–	–	–	785	64,0	16,0	38,6	82,5
Век	6583 × <i>T. timopheevii</i>	–	25–30MR	5–10R	–	–	–	–	–	754	63,0	14,2	43,0	120,0
T-409-1	(НАД 508 × АД 206) × Таза	–	0R	0R	–	+	–	–	–	690	55,0	14,0	30,0	95,0
T-989-1	(АД 322 × 119 АД) × Прогресс × Таза	–	0R	0R	–	–	–	–	–	740	–	14,0	27,7	105,0

коротком плече хромосомы 1 ржи и тесно сцеплены между собой. Данные гены в составе пшенично-ржаных транслокаций 1BL.RS (Petkus), 1AL.1RS (Insave), 1BL.RS и 1DL.1RS (Imperial) были успешно переданы в сорта и линии *Triticum aestivum* L. Для проверки их наличия в изучаемых образцах проведена ДНК-идентификация с применением маркеров Iag95 и P6M12. В качестве положительного контрольного образца использован сорт ржи Памирская. По результатам ПЦР-анализа с маркером P6M12 установлено наличие фрагментов длиной

260 и 360 п. н. у пяти интрогрессивных линий пшеницы (1127-7, 1633-31, 1676, 1717-27, 2005-13) и одной линии тритикале (Т-409-1) (см. рис. 2, а). Амплификация фрагмента длиной 1050 п.н. с маркером Iag95 зафиксирована только по линии 1127-7. Анализ на основании двух маркеров позволил идентифицировать линию 1127-7 как носителя *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*. Другие пять линий являются носителями только гена *Lr26* (см. таблицу).

Для детектирования наличия генов *Lr35/Sr39* в изучаемых линиях пшеницы

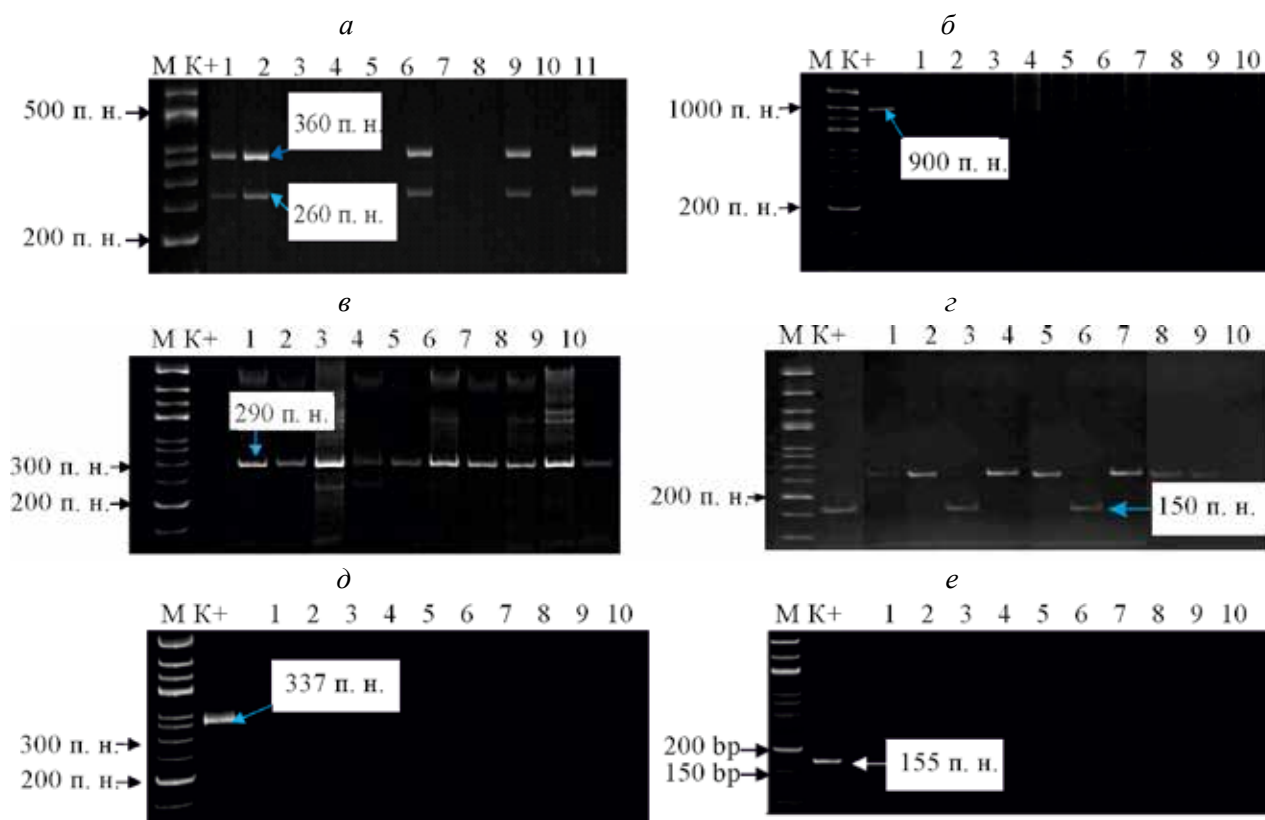


Рис. 2. Продукты амплификации ДНК-образцов интрогрессивных линий пшеницы и тритикале с использованием молекулярных маркеров:

а – идентификация генов *Lr26/Sr31/Yr9* с маркером P6M12; б – идентификация генов *Lr35/Sr39* с маркером *Sr39*; в – идентификация генов *Lr35/Sr39* с маркером BE500705; г – идентификация генов *Lr34/Yr18/Sr57* с маркером *csLV34*; д – идентификация гена *Sr2* с маркером CsSr2; е – идентификация гена *Sr36* с маркером *Xstm773-2*

М – маркер молекулярных весов Step50; К+ – положительный контроль; 1 – 1127-7; 2 – 1633-31; 3 – 1633-40; 4 – 1674-27; 5 – 1675-149; 6 – 1675-170; 7 – 1676; 8 – 1716-23; 9 – 1716-24; 10 – 1717-27; 11 – 1723-11

Fig. 2. Products of DNA amplification of samples of introgressive lines of wheat and triticale using molecular markers:

а – identification of the *Lr26/Sr31/Yr9* gene with the P6M12 marker; б – identification of the *Lr35/Sr39* genes with the *Sr39* marker; в – identification of the *Lr35/Sr39* genes with the BE500705 marker; г – identification of the *Lr34/Yr18/Sr57* genes with the *csLV34* marker; д – identification of the *Sr2* gene with the CsSr2 marker; е – identification of the *Sr36* gene with the marker *Xstm773-2*

М – molecular weight marker Step50; К+ – positive control; 1 – 1127-7; 2 – 1633-31; 3 – 1633-40; 4 – 1674-27; 5 – 1675-149; 6 – 1675-170; 7 – 1676; 8 – 1716-23; 9 – 1716-24; 10 – 1717-27; 11 – 1723-11

и тритикале проведен ПЦР-анализ с применением двух маркеров – *Sr39*, BE500705 (маркер на отсутствие гена). В качестве положительного контроля использована изогенная линия пшеницы *RL5711 Kerber* (с геном *Sr39*). Анализ с использованием доминантного SCAR-маркера *Sr39* показал, что амплификация ожидаемого фрагмента 900 п. н. произошла только у ДНК изогенной линии *RL5711 Kerber*, у всех остальных тестируемых линий она не зафиксирована (см. рис. 2, б). Маркер EST BE500705 является доминантным маркером, который идентифицирует единую полосу длиной 166 п. н.²³, также связанную с исходным сегментом пшеницы (восприимчивой аллелью). Поэтому этот маркер применяется для подтверждения отсутствия генов *Lr35/Sr39*. В ходе ПЦР-анализа установлено, что у всех диагностируемых образцов присутствует фрагмент длиной 290 п. н., но не 166 п. н. (см. рис. 2, в). Некоторыми авторами [9] используются фрагменты длиной именно 290 п. н., позволяющие идентифицировать отсутствие искомой аллели. Таким образом, на основании анализа с двумя маркерами сделан вывод об отсутствии искомым аллелей генов *Lr35/Sr39* в интрогрессивных линиях пшеницы и тритикале.

Проведена идентификация генов *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* с помощью маркера *csLV34*. В качестве положительного контрольного образца использована линия NIL-Thatcher-Lr34-PI58548 (RL6058). Установлено наличие ценных генов *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* у следующих образцов синтетической пшеницы: 1633-40, 1675-170, 1723-11, 2041-7 (см. рис. 2, г; таблицу).

Для идентификации носителей гена *Sr2*, гена устойчивости к стеблевой ржавчине, использован CAPS-маркер *CsSr2*, который был разработан на основе локуса *Sr2* и с высокой точностью обнаруживает три различных аллеля *Sr2*. В качестве положительного контроля применялась линия *Pavon 76*. ПЦР-анализ с использованием указанного маркера показал, что у 19 изучаемых образцов

амплификация отсутствовала (см. рис. 2, д; таблицу). По данным R. Mago et al. [8], была зафиксирована «нулевая аллель», не относящаяся к *Sr2*. У контрольной линии *Pavon 76* после амплификации проведено разрезание ферментом *BspHI* и зафиксированы три фрагмента (172, 112 и 53 п. н.), связанные с присутствием *Sr2*.

Идентификация гена устойчивости к стеблевой ржавчине *Sr36*, полученного от *Triticum timopheevii*, произведена с использованием маркера *Xstm773-2*. В качестве положительного контроля применялась изогенная линия с геном *Sr36W2691SrTt-1 C1 17385*. В процессе ПЦР-анализа всех изучаемых образцов установлено, что искомый фрагмент длиной 155 п. н. присутствует только у положительного контрольного образца (см. рис. 2, е).

Фитопатологическая оценка. Проведена оценка 17 интрогрессивных линий озимой пшеницы и двух линий тритикале на устойчивость к грибным болезням, в том числе бурой и желтой ржавчине. Проявление стеблевой ржавчины зафиксировано не было. По результатам оценки в полевых условиях в группу высокоустойчивых к бурой ржавчине (отсутствие симптомов поражения) вошли девять линий: 1127-7, 1675-170, 1676, 2005-13, 2041-13, 2046-1, KZ231, T-409-1, T-989-1 (см. таблицу). К группе устойчивых (поражение до 5%) отнесена одна линия (1633-40), у которой отмечен устойчивый тип реакции (R). Умеренной устойчивостью (поражение до 10%, тип реакции R) характеризовались два образца – 1633-31 и 1717-27. Умеренная восприимчивость (поражение 15–30%) выявлена у пяти линий: 1674-27, 1675-149, 1723-11, 2041-7, Век (тип реакции MR). Остальные два образца имели среднюю восприимчивость к бурой ржавчине, их пораженность составила 40–50%, тип реакции MS.

Все линий, кроме 1716-23 и Век, в полевых условиях показали высокую устойчивость к желтой ржавчине (отсутствие симптомов поражения).

Таким образом, в результате скрининга по определению устойчивости к бурой и

²³URL: <https://maswheat>

желтой ржавчине отмечены девять образцов (1127-7, 1675-170, 1676, 2005-13, 2041-13, 2046-1, KZ231, T-409-1, T-989-1), которые могут быть рекомендованы для использования в органическом земледелии.

Качество зерна и муки. Проведена оценка качества зерна интрогрессивных линий озимой пшеницы и озимого тритикале по натуре зерна, стекловидности, содержанию протеина, клейковины, качеству клейковины и седиментации.

Исследования 2020, 2021 гг. показали, что изучаемые образцы имели натуру в пределах 690–825 г/л. Большая часть коллекции по натуре зерна отнесена к классу сильных пшениц (не менее 750 г/л) (см. таблицу). Особо выделены образцы с высокой натурой зерна (≥ 800 г/л): 1674-27 (825 г/л), 1675-149 (815 г/л), 1675-170 (807 г/л).

По стекловидности зерна значения варьировали в пределах 63–83%, в связи с чем все интрогрессивные линии пшеницы отнесены к классу сильных пшениц ($\geq 60\%$) (см. таблицу).

Реальная ценность зерна во многом зависит от его белковости [10]. Суммарное количество белка в зерновке пшеницы (в среднем 12,0–14,0% массы зерна) и ее диких сородичей может колебаться в весьма широких пределах – от 9,8 до 30,2% и более в зависимости от генотипа и условий выращивания [11]. По содержанию белка выделяют семь классов мягкой пшеницы: сильная (отличная – 16,0%; хорошая – 15,0%; удовлетворительная – 14,0%), ценная (13,0%), филлер (хорошая – 12,0%; удовлетворительная – 11,0%) и слабая (8,0%). Интрогрессивные линии, полученные путем отдаленной гибридизации, имели очень высокое содержание белка – в пределах 13,6–19,0%. Из них девять соответствуют параметрам сильной пшеницы 1-го класса – отличные улучшители ($\geq 16,0\%$): 2041-13 (19,0%), 2005-13 (17,3%), 2041-7 (17,3%), 1716-24 (17,0%), 1675-149 (16,4%), 1127-7 (16,3%), 1633-31 (16,3%), 1717-27 (16,1%), KZ231 (16,0%) (см. таблицу).

Клейковина пшеничной муки представляет собой белковую массу, студень, который может, поглощая воду, набухать, уве-

личиваться в объеме, превращаться в упругое образование, способное растягиваться и пружинить, как резина. По содержанию клейковины выделяют семь классов пшеницы: сильная – улучшитель (отличная – 32,0%; хорошая – 30,0%; удовлетворительная – 28,0%), ценная (25,0%), филлер (хорошая – 24,0%; удовлетворительная – 22,0%), слабая (15,0%) [6].

Результаты оценки содержания клейковины в муке интрогрессивных линий озимой пшеницы и тритикале показали, что средние значения находятся в пределах 30,0–49,7% и все рассматриваемые линии соответствуют классу сильные пшеницы – отличные улучшители ($\geq 32,0\%$) (см. таблицу). Наиболее высокие значения отмечены у следующих линий: 1633-31 (49,4%), 2005-13 (49,6%), 2041-13 (49,0%), 2041-7 (49,3%), 1675-149 (47,7%), 1716-24 (47,0%), 1633-40 (47,0%).

Для оценки качества клейковины использовали принятое ранжирование (ед. ИДК): 45–75 – сильная; 40 и 85 – ценная; 35–20 и 90–100 – филлер; 105–120 – слабая. Качество клейковины у интрогрессивных линий варьирует в значительных пределах: от 80 до 120 ед. ИДК. Из интрогрессивных линий выделены линии 1127-7 (80,0 ед.) и KZ231 (82,5 ед.), показатели ИДК которых соответствуют классу ценной пшеницы. Линии 1675-170 (91,6 ед.), 1674-27 (92,5 ед.), 1717-27 (95,0 ед.), T-409-1 (95,0 ед.), 1716-24 (95,0 ед.) отнесены к филлерам (см. таблицу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПЦР-идентификация 17 интрогрессивных линий и сортов озимой пшеницы и 2 линий тритикале на обнаружение регуляторных элементов 35S и NOS, которые являются наиболее часто используемыми в генно-инженерных конструкциях, показала их отсутствие.

По результатам ДНК-идентификации на обнаружение эффективных генов бурой (*Lr*-), стеблевой (*Sr*-) и желтой (*Yr*-) ржавчины (*Lr*9, *Lr*26/*Sr*31/*Yr*9, *Lr*34/*Yr*18/*Sr*57, *Lr*35/*Sr*39, *Lr*34, *Sr*2, *Sr*36) из 19 интрогрессивных линий озимой пшеницы и тритикале выделены четыре образца (1633-40, 1675-170,

1723-11, 2041-7) с ценными генами *Lr34/Yr18/Sr57/Pm38* и один образец (1127-7), являющийся носителем генов *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*.

На основании изучения 21 образца на предмет устойчивости к ржавчине на естественном фоне отмечено девять устойчивых к двум видам ржавчины (бурая и желтая) образцов с типом реакции R и отсутствием поражения (1127-7, 1675-170, 1676, 2005-13, 2041-13, 2046-1, KZ231, Т-409-1, Т-989-1).

Оценка интрогрессивных линий озимой пшеницы и озимого тритикале по параметрам качества зерна (натуре, стекловидности, содержанию протеина, клейковины, качеству клейковины и седиментации) позволила выделить два образца (1127-7, KZ231) с высокими показателями, соответствующими сильным пшеницам, а по качеству клейковины – ценным пшеницам.

По итогам комплексной оценки выделены две линии (1127-7, KZ231), отличающиеся значительной устойчивостью к двум видам ржавчины и высокими показателями качества зерна. Данные линии рекомендуются для использования в органическом земледелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранова Ю.Т., Кинчаров А.И., Демина Е.А., Муллаянова О.С. Источники устойчивости к грибным заболеваниям для селекции яровой мягкой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 45–49. DOI: 10.28983/asj.y2020i12pp45-49.
2. Rsaliyev A.S., Rsaliyev S.S. Principal approaches and achievements in studying race composition of wheat stem rust // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. N 8. P. 967–977. DOI: 10.18699/VJ18.439.
3. Shamanin V., Salina E., Wanyera R., Zelen-skiy Y., Olivera P., Morgounov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99 // Euphytica. 2016. Vol. 212. N 2. P. 287–296. DOI: 10.1007/s10681-016-1769-0.
4. Li A., Liu D., Yang W., Kishii M., Mao L. Synthetic Hexaploid Wheat: Yesterday, Today and Tomorrow // Engineering. 2018. Vol. 4. P. 552–558. DOI: 10.1016/j.eng.2018.07.001.
5. Abugaliyeva A.I., Savin T.V. The wheat introgressive form evaluation by grain biochemical

and technological properties // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22 (3). P. 353–362. DOI: 10.18699/VJ18.371.

6. Abugaliyeva A.I., Savin T.V., Kozhahmetov K.K., Morgounov A.I. Registration of wheat germ-plasm originating from wide crosses with superior agronomic performance and disease resistance // Journal of Plant Registrations this link is disabled. 2021. Vol. 15. N 1. P. 206–214. DOI: 10.1002/plr2.20105.
7. Mago R., Zhang P., Bariana H.S., Verlin D.C., Bansal U.K., Ellis J.G., Dundas I.S. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection // Theoretical and Applied Genetics. 2009. Vol. 119. P. 1441–1450. DOI: 10.1007/s00122-009-1146-7.
8. Mago R., Brown-Guedira G., Dreisigacker S., Breen J., Jin Y., Singh R., Appels R., Lagudah E.S., Ellis J., Spielmeier W. An accurate DNA marker assay for stem rust resistance gene *Sr2* in wheat // Theoretical and Applied Genetics. 2011. Vol. 122. P. 735–744. DOI: 10.1007/s00122-010-1482-7.
9. Gulyaeva E.I., Orina A.S., Gannibal Ph.B., Mitrofanova O.P., Odintsova I.G., Laikova L.I. The Effectiveness of Molecular Markers for the Identification of *Lr28*, *Lr35*, and *Lr47* Genes in Common Wheat // Russian Journal of Genetics. 2014. Vol. 50. N 2. P. 131–139. DOI: 10.1134/S1022795414020069.
10. Крупнов В.А., Крупнова О.В. Генетическая архитектура содержания белка в зерне пшеницы // Генетика. 2012. Т. 48. № 2. С. 149–159.
11. Mitrofanova O.P., Khakimova A.G. New genetic resources in wheat breeding for an increased grain protein content // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol. 20 (4). P. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16.177.

REFERENCES

1. Taranova Yu.T., Kincharov A.I., Demina E.A., Mullayanova O.S. Sources of resistance to fungal diseases for the breeding of spring soft wheat. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian scientific journal*, 2020, no. 12, pp. 45–49. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2020i12pp45-49.
2. Rsaliyev A.S., Rsaliyev S.S. Principal approaches and achievements in studying race

- composition of wheat stem rust. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22, no. 8, pp. 967–977. DOI: 10.18699/VJ18.439.
3. Shamanin V., Salina E., Wanyera R., Zelenskiy Y., Olivera P., Morgounov A. Genetic diversity of spring wheat from Kazakhstan and Russia for resistance to stem rust Ug99. *Euphytica*, 2016, vol. 212, no. 2, pp. 287–296. DOI: 10.1007/s10681-016-1769-0.
 4. Li A., Liu D., Yang W., Kishii M., Mao L. Synthetic Hexaploid Wheat: Yesterday, Today and Tomorrow. *Engineering*, 2018, vol. 4, pp. 552–558. DOI: 10.1016/j.eng.2018.07.001.
 5. Abugaliyeva A.I., Savin T.V. The wheat introgressive form evaluation by grain biochemical and technological properties. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22 (3), pp. 353–362. DOI: 10.18699/VJ18.371.
 6. Abugaliyeva A.I., Savin T.V., Kozhakhmetov K.K., Morgounov A.I. Registration of wheat germplasm originating from wide crosses with superior agronomic performance and disease resistance. *Journal of Plant Registrations this link is disabled*, 2021, vol. 15, no. 1, pp. 206–214. DOI: 10.1002/plr2.20105.
 7. Mago R., Zhang P., Bariana H.S., Verlin D.C., Bansal U.K., Ellis J.G., Dundas I.S. Development of wheat lines carrying stem rust resistance gene *Sr39* with reduced *Aegilops speltoides* chromatin and simple PCR markers for marker-assisted selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 2009, vol. 119, pp. 1441–1450. DOI: 10.1007/s00122-009-1146-7.
 8. Mago R., Brown-Guedira G., Dreisigacker S., Breen J., Jin Y., Singh R., Appels R., Lagudah E.S., Ellis J., Spielmeier W. An accurate DNA marker assay for stem rust resistance gene *Sr2* in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2011, vol. 122, pp. 735–744. DOI: 10.1007/s00122-010-1482-7.
 9. Gulyaeva E.I., Orina A.S., Gannibal Ph.B., Mitrofanova O.P., Odintsova I.G., Laikova L.I. The Effectiveness of Molecular Markers for the Identification of *Lr28*, *Lr35*, and *Lr47* Genes in Common Wheat. *Russian Journal of Genetics*, 2014, vol. 50, no. 2, pp. 131–139. DOI: 10.1134/S1022795414020069.
 10. Krupnov V.A., Krupnova O.V. Genetic architecture of protein content in wheat grain. *Genetika* = *Russian Journal of Genetics*, 2012, vol. 48, no. 2, pp. 149–159. (In Russian).
 11. Mitrofanova O.P., Khakimova A.G. New genetic resources in wheat breeding for an increased grain protein content. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2016, vol. 20 (4), pp. 545–554. DOI: 10.18699/VJ16.177.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Ержебаева Р.С.**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией; **адрес для переписки:** Республика Казахстан, 040909, Алматинская область, пос. Алмалыбак, ул. Ерлепесова, 1; e-mail: raushan_2008@mail.ru

Абекова А.М., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Базылова Т.А., научный сотрудник

Масимгазиева А.С., магистр естественных наук, научный сотрудник

Мереева Т.Д., старший лаборант

Кожакметов К., доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник

Бастаубаева Ш.О., председатель Правления

Слямова Н.Д., кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией

AUTHOR INFORMATION

✉ **Raushan S. Yerzhebayeva**, Candidate of Science in Biology, Laboratory Head; **address:** 1, Yerlepesov St., Almalybak, Almaty region, 040909, Republic of Kazakhstan; e-mail: raushan_2008@mail.ru

Alfiya M. Abekova, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher

Tamara A. Bazylova, Researcher

Aigerim S. Massimgaziyeva, Master of Science, Researcher

Tolkyn D. Mereyeva, Senior Assistant

Kenebay Kozhakhmetov, Doctor of Science in Biology, Lead Researcher

Sholpan O. Bastaubayeva, Board Chairman

Nazira D. Slyamova, Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.07.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 09.09.2022
Дата публикации / Published 20.03.2023

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	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство
Научные связи	4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
Из истории сельскохозяйственной науки	4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
Краткие сообщения	4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных
Из диссертационных работ	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 обозрения, 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@sfscs.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 СНОСКИ

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., Лапишинов 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, 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 отзыва статьи. 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 2 (291)

DOI: 10.26898



2023
February

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. Afanassenko	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

Address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District,

Novosibirsk Region, 630501, Russia. Tel/fax: +7-383-348-37-62

e-mail: sibvestnik@sfsca.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

