



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

Сибирский вестник СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ НАУКИ SIBERIAN HERALD OF AGRICULTURAL SCIENCE

№ 9

TOM 53



СЕНТЯБРЬ 2023

Том 53 № 9 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, № 9 (298)

DOI: 10.26898



2023
сентябрь

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

Редакционная коллегия:

В.В. Азаренко	д-р техн. наук, член-корреспондент НАН Беларуси, Минск, Беларусь
В.В. Альт	академик РАН, д-р техн. наук, Новосибирск, Россия
О.С. Афанасенко	академик РАН, д-р биол. наук, Санкт-Петербург, Россия
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. Деягин	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
С. Эркисли	профессор, PhD, Эрзурум, Турция
С.Х. Янг	профессор, PhD, Кванджу, Корея



www.sibvest.elpub.ru

Редакторы *Е.М. Исаевич, Е.В. Мосунова, Г.Н. Ягунова*. Корректор *В.Е. Селянина*.
Оператор электронной верстки *Н.Ю. Бориско*. Переводчик *М.Ш. Гаценко*.

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

Издатель: Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук

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

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

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

Вышел в свет 20.10.2023. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага тип. № 1. Печать офсетная. Печ. л. 15,5

Уч.-изд. л. 15,25. 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*

Слепцова Т.В., Неустроев М.П. Пред-
посадочная обработка клубней карто-
феля биопрепаратами в условиях Цен-
тральной Якутии

**Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Ула-
нов А.К.** Использование азота удобре-
ний зерновыми культурами в аридных
условиях Бурятии

РАСТЕНИЕВОДСТВО И СЕЛЕКЦИЯ

**Калабина Д.В., Лыбенко Е.С., Хло-
пов А.А.** Хозяйственно-биологическая
оценка сортов и гибридов рапса ярово-
го в условиях Кировской области

Упадышев М.Т. Совершенствование
технологического процесса получения
исходных растений груши

CONTENTS

*AGRICULTURE
AND CHEMICALIZATION*

5 Sleptsova T.V., Neustroev M.P. Pre-plan-
ting treatment of potato tubers with
biopreparations in conditions of Central
Yakutia

**15 Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulan-
ov A.K.** Fertilizer nitrogen use by cereal
crops in arid conditions of Buryatia

PLANT GROWING AND BREEDING

**23 Kalabina D.V., Lybenko E.S., Khlo-
pov A.A.** Economic and biological evalu-
ation of spring rape varieties and hybrids
under conditions of the Kirov region

32 Upadyshev M.T. Improvement of the tech-
nological process of obtaining initial pear
plants

Шарапов И.И., Шарапова Ю.А., Абдраев М.Р. Влияние метеоусловий на урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы

40 Sharapov I.I., Sharapova Yu.A., Abdryaev M.R. Influence of weather conditions on yield and protein content in winter wheat grain

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION

Пимохова Л.И., Яговенко Г.Л., Царапнева Ж.В., Хараборкина Н.И., Мисникова Н.В. К вопросу о выживаемости гриба *Colletotrichum lupini* var. *lupini*, являющегося возбудителем антракноза люпина, в условиях Брянской области

49 Pimokhova L.I., Yagovenko G.L., Tsarapneva Zh.V., Kharaborkina N.I., Misnikova N.V. To the question of survival of the fungi *Colletotrichum lupini* var. *lupini* – the lupin anthracnose pathogen – in the conditions of the Bryansk region

Казанцев С.А., Памирский И.Э. Применение методов биоинформатики при исследовании и создании пестицидов

60 Kazantsev S.A., Pamirsky I.E. Application of bioinformatics methods in pesticide research and development

*ЗООТЕХНИЯ
И ВЕТЕРИНАРИЯ*

*ZOOTECHNICS
AND VETERINARY MEDICINE*

Носенко Н.А., Егоров С.В., Магер С.Н., Свиязова Ю.И. Влияние комплексных биодобавок фитогенного происхождения на продуктивные показатели перепелов

68 Nosenko N.A., Egorov S.V., Mager S.N., Sviyazova Yu.I. Effect of complex bio-additives of phytogenic origin on productive performance of quails

Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л. Результаты доклинического испытания опытного фитопрепарата при острых расстройствах желудочно-кишечного тракта телят

80 Savelyeva L.N., Bondarchuk M.L. Results of preclinical testing of experimental phytopreparation for acute gastrointestinal disorders in calves

Самсонова И.Д., Плахова А.А. Биоресурсный потенциал медоносных угодий в ходе сукцессии лесной растительности

87 Samsonova I.D., Plakhova A.A. Biore-source potential of honey-making lands during the succession of forest vegetation

- Требухов А.В., Багина В.О., Демёнова А.Е.** Сравнение эффективности применения препаратов заместительной терапии при бронхопневмонии телят 94 **Trebukhov A.V. Bagina V.O., Demenova A.E.** Comparison of the effectiveness of substitution therapy preparations in bronchopneumonia of calves
- Донник И.М., Макутина В.А., Кривоногова А.С., Исаева А.Г., Дейкин А.В., Кощаев А.Г.** Подходы к редактированию генома сельскохозяйственных животных 101 **Donnik I.M., Makutina V.A., Krivonogova A.S., Isaeva A.G., Deykin A.V., Kotschaev A.G.** Approaches to genome editing in agricultural animals

ПРОБЛЕМЫ. СУЖДЕНИЯ

PROBLEMS. SOLUTIONS

- Арсентьев И.А., Тимошина Н.А.** Использование сорных растений в качестве зеленого удобрения в сельском хозяйстве 111 **Arsentiev I.A., Timoshina N.A.** Use of weed plants as green manure in agriculture



ПРЕДПОСАДОЧНАЯ ОБРАБОТКА КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ БИОПРЕПАРАТАМИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

(✉) Слепцова Т.В.^{1,2}, Неустроев М.П.¹

¹Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова – обособленное подразделение Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук

Якутск, Россия

²Арктический государственный агротехнологический университет

Якутск, Россия

(✉) e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

Представлены результаты исследования влияния предпосадочной обработки клубней биопрепаратами на основе штаммов бактерий *Bacillus subtilis* на рост, фотосинтетическую деятельность растений, поражение болезнями и урожайность картофеля сорта Якутянка в условиях Центральной Якутии. Схема опыта включала контроль (клубни без обработки), обработку клубней перед посадкой биофунгицидом Фитоспорин-М и суспензией из равного соотношения штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5, выделенных из мерзлотных почв Якутии. Установлено, что обработка клубней перед посадкой биопрепаратами ускоряла появление всходов на 2–4 дня, увеличивала биомассу и показатели фотосинтетической деятельности растений (на 6–19%), количество (11%) и массу (48–57%) клубней, снижала в 1,8–2,9 раза поражение растений комплексом болезней и повышала на 7,4–8,8 т/га (54–64%) урожайность. Показано, что доля влияния биопрепаратов в изменчивости хозяйственно ценных показателей и урожайности составляет 45–96%, погодных условий – 1–38%, взаимодействия факторов – 1–11%. Существенная положительная связь урожайности, количества и массы клубней выявлена с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, фотосинтетическим потенциалом ($r = 0,81 \dots 0,98$), отрицательная – с поражением ризоктониозом, обыкновенной паршой, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80 \dots -0,96$). Между распространенностью болезней и показателями роста и фотосинтетической деятельности растений наблюдается обратная зависимость ($r = -0,33 \dots -0,96$). В засушливых условиях поражение обыкновенной паршой и ризоктониозом возрастает в 1,4–1,8 раза, черной ножкой, морщинистой и обыкновенной мозаикой снижается в 1,6–2,5 раза. Рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие оперативно и с высокой точностью ($R^2 = 0,85 \dots 0,95$) прогнозировать площадь листьев, фотосинтетический потенциал и урожайность по массе растений. При увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г площадь листьев растений повышалась на 2,3 тыс. м²/га, фотосинтетический потенциал за вегетацию – на 120 тыс. м² · сут/га, урожайность – на 9,7 т/га. Разница между фактическими и рассчитанными значениями составила 2,7–4,7%.

Ключевые слова: картофель, обработка клубней, биопрепараты, фотосинтетическая деятельность, болезни, урожайность

PRE-PLANTING TREATMENT OF POTATO TUBERS WITH BIOPREPARATIONS IN CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA

(✉) Sleptsova T.V.^{1,2}, Neustroev M.P.¹

¹M.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

²Arctic State Agrotechnological University

Yakutsk, Russia

(✉) e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

The results of the study of the influence of pre-planting treatment of tubers with biopreparations based on *Bacillus subtilis* bacterial strains on the growth, photosynthetic activity of plants, disease damage and yield of the Yakutyanka potato variety under the conditions of Central Yakutia are presented. The experiment scheme included control (tubers without treatment), treatment of the tubers before planting with the biofungicide Phytosporin-M and the suspension of an equal ratio of *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 bacterial strains isolated from permafrost soils of Yakutia. It was found that treatment of tubers before planting with biopreparations accelerated sprouting by 2–4 days, increased biomass and photosynthetic activity of the plants (by 6–19%), the number (11) and weight (48–57%) of tubers, reduced the damage of the plants by a complex of diseases by 1.8–2.9 times and increased the yield by 7.4–8.8 t/ha (54–64%). The share of biopreparation influence in the variability of economically valuable indicators and yield was shown to be 45–96%, weather conditions 1–38%, factor interaction 1–11%. Significant positive correlation of the yield, number and weight of the tubers with the height, number and weight of the plants, leaf area, photosynthetic potential ($r = 0.81...0.98$), and negative correlation with rhizoctonia disease, potato scab, and common mosaic ($r = -0.80...-0.96$) were revealed. There was an inverse relationship between disease prevalence and indices of plant growth and photosynthetic activity ($r = -0.33...-0.96$). Damage by potato scab and rhizoctonia disease increases 1.4–1.8 times in arid conditions, while blackleg, rugose and common mosaic damage decreases 1.6–2.5 times. Regression equations were calculated, which allow to predict leaf area, photosynthetic potential and yield by plant mass promptly and with high accuracy ($R^2 = 0.85...0.95$). When the bush weight in the flowering phase increased by 100 g, the leaf area of the plants increased by 2.3 thousand m^2/ha , photosynthetic potential during the growing season by 120 thousand $m^2 \cdot day/ha$, and the yield by 9.7 t/ha. The difference between actual and calculated values amounted to 2.7–4.7%.

Keywords: potato, tuber treatment, biopreparations, photosynthetic activity, diseases, yield

Для цитирования: Слепцова Т.В., Неустроев М.П. Предпосадочная обработка клубней картофеля биопрепаратами в условиях Центральной Якутии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-1>

For citation: Sleptsova T.V., Neustroev M.P. Pre-planting treatment of potato tubers with biopreparations in conditions of Central Yakutia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Acknowledgments

The work was performed on the equipment of the Common Use Center of the FRC YaSC SB RAS.

ВВЕДЕНИЕ

Картофелеводство является важнейшей отраслью земледелия Республики Саха (Якутия). Среднегодовой объем валового сбора картофеля в регионе составляет 70–85 тыс. т при урожайности 10–11 т/га. Для полного обеспечения картофелем местного производства необходимо не менее 150 тыс. т клубней ежегодно. Решение этой задачи возможно в первую очередь за счет повышения урожайности, которая в последние годы в республике существенно не увеличивается^{1, 2}.

Одной из причин низкой урожайности и рентабельности культуры является отсутствие адаптивных агротехнологий возделывания с использованием эффективных биопрепаратов, которые являются составной частью органического земледелия. В настоящее время этому направлению придается важное стратегическое значение³.

В основе использования бактериальных препаратов лежит механизм антибиоза, регулирующий взаимоотношения полезных и

¹Сельское хозяйство в Республике Саха (Якутия): стат. сб. Якутск, 2022. 145 с.

²Охлопкова П.П. История развития и современное состояние картофелеводства в Якутии // Наука и техника в Якутии. 2017. № 1 (32). С. 20–22.

³Стратегия развития производства органической продукции в Российской Федерации до 2030 года // Распоряжение Правительства РФ от 4 июля 2023. № 1788-р. 91 с.

вредных микроорганизмов⁴. Биопрепараты для подавления численности фитопатогенных микроорганизмов являются экологически безопасной и эффективной альтернативой химическим пестицидам, так как разрабатываются на основе природных регуляторов численности возбудителей болезней растений. К таким регуляторам относятся энтомопатогенные и антагонистические микроорганизмы и их метаболиты [1]. Наиболее распространенными агентами биологического контроля численности фитопатогенных грибов являются бактерии рода *Bacillus* spp., которые улучшают рост корней растений, облегчают доступ к ним микроэлементов, повышают урожайность^{5, 6} [2–4]. Из аэробных спорообразующих бактерий наибольшее значение как биологический агент подавления численности фитопатогена имеют бактерии *Bacillus subtilis*, штаммы которых обладают фунгицидной активностью, стимулируют рост растений, повышают их урожайность^{7, 8} [5, 6]. Широкое распространение получил биофунгицид Фитоспорин-М, созданный на основе бактерии *Bacillus subtilis*, штамм 26Д. Препарат повышает устойчивость растений к болезням за счет антагонизма бактерии *in vitro* ко многим фитопатогенам и ее способностью конкурентно занимать их нишу обитания во внутренних тканях растений [7]. Применение Фитоспорина-М ускоряло рост и развитие растений, повышало устойчи-

вость к биотическим и абиотическим факторам внешней среды, урожай и его качество, снижало поражение болезнями и потери при хранении различных сельскохозяйственных культур, в том числе картофеля^{9–11} [8–10].

В 2006 г. в Якутском научно-исследовательском институте сельского хозяйства (Якутском НИИСХ) разработана суспензия из равного соотношения штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5, выделенных из мерзлотных почв Якутии и депонированных во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) под номерами Д149 и Д150. Штаммы обладают антагонистическим и иммуностимулирующим действием в отношении патогенных микроорганизмов, что позволило разработать биопрепараты, широко используемые в северном животноводстве Якутии против различных заболеваний животных и для увеличения привеса молодняка¹² [11]. Добавление штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 при силосовании кормовых культур обеспечивало высокое качество, питательность и сохранность силоса [12]. Опрыскивание суспензией штаммов растений земляники уменьшало поражение ягод серой гнилью, увеличивало количество цветоносов и массу ягод¹³, а обработка семян ячменя и клубней картофеля снижала пораженность растений болезнями, увеличивала надземную биомассу, повышала урожайность¹⁴ [13].

⁴Штерниус М.В. Состояние и перспективы использования биопрепаратов для защиты растений в Сибири // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2011. № 5 (21). С. 48–55.

⁵Леляк А.А., Штерниус М.В. Антагонистический потенциал сибирских штаммов *Bacillus* spp. в отношении возбудителей болезней животных и растений // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 1 (26). С. 42–51.

⁶Singh R.P., Jha P. N. A halotolerant bacterium *Bacillus licheniformis* HSW-16 augments induced systemic tolerance to salt stress in wheat plant (*Triticum aestivum*) // Frontiers in plant science. 2016. Vol. 7. P. 1890. DOI:10.3389/fpls.2016.01890.

⁷Коробова Л.Н., Гаврилец Т.В. Применение бактофита: прибавка урожая и оздоровление почвы // Защита и карантин растений. 2006. № 4. С. 47–48.

⁸Штерниус М.В., Беляев А.А., Цветкова В.П., Шпатова Т.В., Леляк А.А., Бахвалов С.А. Биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* для управления здоровьем растений: монография. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ние РАН, 2016. 233 с.

⁹Ишкинина Ф.Ф., Аминев И.Н., Хайбуллин М.М. Влияние биопрепаратов на хранение клубней картофеля // Вестник ОГУ. 2013. № 10 (159). С. 193–194.

¹⁰Давлетишин Ф.М., Гильманов Р.Г., Сафин Х.М., Аюпов Д.С. Эффективность биофунгицида Фитоспорин-М на яровой пшенице при прямом посеве // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 2. С. 39–40.

¹¹Чеботарь В.К., Кипрушкина Е.И. Применение микробных препаратов в технологиях хранения картофеля // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 1. С. 33–35.

¹²Неустроев М.П., Тарабукина Н.П., Скрябина М.П., Степанова А.М. Пробиотики из штаммов бактерий *Bacillus subtilis* в сельском хозяйстве Якутии: методическое пособие. Якутск: ООО Реактив Принт, 2017. 16 с.

¹³Васильева Е.П., Белевцова В.И., Протопопова А.В., Сорокопудов В.Н. Применение *Bacillus subtilis* на землянике против серой гнили // Защита и карантин растений. 2017. № 2. С. 40–41.

¹⁴Власенко Н.Г., Слепцов С.С., Самсонова М.С. Защита ячменя от грибных болезней в Центральной Якутии. Якутск: Изд-во Якутского НИИСХ, 2012. 47 с.

Цель исследования – изучить влияние предпосадочной обработки клубней картофеля биопрепаратами на основе бактерий *Bacillus subtilis* на рост, фотосинтетическую деятельность растений, поражение болезнями и урожайность в условиях Центральной Якутии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на стационаре Якутского НИИСХ «Холбуя», расположенном в пойме р. Лены. Регион входит в зону рискованного земледелия из-за крайне низких температур в зимний период, больших годовых, сезонных и суточных колебаний температур воздуха, засушливого климата, короткого безморозного периода, низкотемпературных многолетнемерзлых пород и холодных почв с низким плодородием. Почва опытного участка слабощелочная (рН 7,8) мерзлотно-пойменная, слоистая супесчаного механического состава. Пахотный слой характеризуется низким содержанием гумуса (1,8–2,2%), общего (0,23%) и нитратного (0,7–1,2 мг/100 г) азота, высоким – подвижного фосфора (21–24 мг/100 г), обменного калия (21–25 мг/100 г). Объектом исследования были растения и клубни картофеля районированного среднераннего сорта Якутянка. Схема опыта включала контроль (клубни без обработки), обработку клубней перед посадкой биофунгицидом Фитоспорин-М (10 г/0,5 л из расчета 0,5 л/20 кг) и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 (замачивание перед посадкой в течение 30 мин в дозе 1×10^9 КОЕ/мл из расчета 300 мл/кг клубней).

Технология возделывания составлялась с учетом зональных рекомендаций¹⁵. Опы-

ты размещали в трехпольном севообороте (овес на сидераты – картофель – картофель). Посадку проводили клоновой сажалкой СН-4БК по схеме 70 × 35 см (40,8 тыс. клубней на 1 га) 28 мая – 3 июня при температуре почвы 6...8 °С на глубине 10 см. Учетная площадь делянки 24,5 м², ширина защитной полосы 5 м, повторность 4-кратная, размещение вариантов рендомизированное. Вегетационный полив проводили дождевальными установками ДДН-70 в III декаде июня – I декаде июля по 350 м³/га. Убирали картофель вручную 25–28 августа.

Фенологические наблюдения, учеты и анализы проводили по методике Всероссийского научно-исследовательского института картофельного хозяйства (ВНИИКХ)¹⁶. Площадь листьев и фотосинтетический потенциал (ФП) растений рассчитывали по методике А.А. Ничипоровича¹⁷. Влагообеспеченность вегетационного периода оценивали по гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК)¹⁸. В годы исследования сумма среднесуточных температур воздуха за вегетационный период (июнь–август) изменялась от 1451 до 1676° при норме 1443°, сумма осадков – от 60 до 187 мм при норме 127 мм, условия влагообеспеченности – от оптимальных (ГТК = 1,29) до сильной засухи (ГТК = 0,37). Экспериментальный материал обработан статистически по методике Б.А. Доспехова¹⁹ с использованием пакета прикладных программ²⁰.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжительность периода всходы – созревание картофеля сорта Якутянка изменялась от 62 до 66 дней при сумме среднесуточных температур воздуха 1048–1227°, периода

¹⁵Система ведения агропромышленного производства Республики Саха (Якутия) до 2005 г. / РАСХН. Сиб. отд.-ние. Якут. НИИСХ. Новосибирск, 1999. 304 с.

¹⁶Методика исследований по культуре картофеля /ВНИИКХ. М.: Колос, 1967. 263 с.

¹⁷Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (методы и задачи учета в связи с формированием урожая). М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 136 с.

¹⁸Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. 2006. № 2. С. 98–105.

¹⁹Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2014. 386 с.

²⁰Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. 222 с.

посадка – созревание – от 84 до 89 дней при сумме температур 1417–1615°. Более значительно ($V = 13\%$) варьировала длительность периода посадка – всходы (от 18 до 27 дней). В вариантах с обработкой клубней Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 всходы картофеля появлялись на 2–4 дня раньше, чем в контроле. Продолжительность других межфазных периодов изменялась незначительно ($V = 1–4\%$) и существенных различий не выявлено. Наибольшая вариабельность теплообеспеченности растений отмечена от посадки до цветения ($V = 8–11\%$) в сравнении с другими периодами ($V = 2–6\%$).

Наблюдения за приростом биомассы растений показали, что при обработке клубней Фитоспорином и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 во все фазы она увеличивалась в сравнении с контролем в среднем на 67–84 г/куст (16–19%). Максимального значения биомасса достигала в фазе цветения (451–535 г/куст), в фазе бутонизации составляла 89% от максимума, через 10 дней после цветения уменьшалась на 6%, через 20 дней – на 9% (см. табл. 1). Наибольший вклад в изменчивость показателя вносили биопрепараты (64–74%) при незначительном влиянии погодных условий и взаимодействия факторов (1–9%). Выявлена сильная прямая связь ($p < 0,01$) массы растений с их высотой ($r = 0,89...0,94$) и количеством в ку-

сте ($r = 0,81...0,84$). Регрессионный анализ показал, что при увеличении высоты растений в фазе цветения (x_1) на 1 см масса куста (y_1) повышалась на 36,1 г. Уравнение (1) позволяет оперативно и с высокой точностью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$) рассчитывать массу растений по их высоте:

$$y_1 = 36,139x_1 - 1155,2, R^2 = 0,860. \quad (1)$$

Биопрепараты также оказывали существенное влияние на показатели фотосинтетической деятельности растений. Площадь листьев при обработке клубней перед посадкой Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 во все фазы увеличивалась на 1,6–2,3 тыс. м²/га (6–9%) в сравнении с контролем (см. табл. 2). Максимального значения она достигала в фазе цветения (28,3–30,5 тыс. м²/га), в фазе бутонизации составляла 88% от максимума, через 10 дней после цветения уменьшалась на 1,7 тыс. м²/га (6%), через 20 дней – на 4,1 тыс. м²/га (14%). Наибольший вклад в ее изменчивость вносили биопрепараты (50–61%) при незначительном влиянии погодных условий и взаимодействия факторов (1–9%). Выявлена сильная прямая связь ($p < 0,01$) площади листьев с высотой и массой растений ($r = 0,82...0,95$). Коэффициент регрессии свидетельствует, что при увеличении массы куста в фазе цветения (x_2) на 100 г площадь листьев (y_2) повышалась на 2,3 тыс. м²/га:

Табл. 1. Влияние предпосадочной обработки клубней картофеля биопрепаратами на динамику сырой массы растений (среднее за 2007–2009 гг.)

Table 1. Effect of pre-planting treatment of potato tubers with biopreparations on the dynamics of raw weight of plants (average for 2007–2009)

Вариант (фактор)	Фаза бутонизации	Фаза цветения	10 дней после цветения	20 дней после цветения
<i>Прирост биомассы растений, г/куст</i>				
Контроль	401	451	425	409
Фитоспорин-М	475	535	504	482
ТНП-3 + ТНП-5	468	529	494	480
<i>Доля влияния факторов и их взаимодействия, %</i>				
Препарат (фактор А)	73,5**	71,0**	68,9**	64,1**
Год (фактор В)	2,3	3,4	2,2	4,2
А × В	8,6*	1,3	0,5	1,1

Здесь и в табл. 2–4.

* Достоверно на 5%-м уровне значимости.

** Достоверно на 1%-м уровне значимости.

Табл. 2. Влияние биопрепаратов на динамику показателей фотосинтетической деятельности растений (среднее за 2007–2009 гг.)**Table 2.** Effect of biopreparations on the dynamics of photosynthetic activity of plants (average for 2007–2009).

Вариант (фактор)	Буто- низация	Цветение	10 дней после цветения	20 дней после цветения	Всходы – цветение	Цветение – 20 дней после цветения	Сумма за вегетацию
	Площадь листьев, тыс. м ² /га				ФП, тыс. м ² · сут/га		
Контроль	25,0	28,3	26,5	24,3	459	528	987
Фитоспорин-М	26,7	30,5	28,8	26,4	514	573	1087
ТНП-3 + ТНП-5	26,7	30,1	28,5	25,9	525	565	1090
Доля влияния факторов и их взаимодействия, %							
Препарат (фактор А)	51,6**	61,1**	61,2**	49,6**	77,3**	69,4**	86,7**
Год (фактор В)	9,4*	0,6	7,7*	8,3	3,5**	5,4	4,5**
А × В	8,1	5,0	2,8	0,9	11,1**	1,5	5,2**

$$y_2 = 0,0228x_2 + 18,108, \quad R^2 = 0,8490. \quad (2)$$

Разница между фактической и рассчитанной по уравнению (2) площадью листьев составила не более $\pm 2,7\%$.

Фотосинтетический потенциал посевов (ФП) в вариантах с предпосадочной обработкой клубней биофунгицидом Фитоспорин-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 в разные периоды вегетации был больше на 37–103 тыс. м² · сут/га (7–14%), чем в контроле (см. табл. 2). Наибольший вклад в его изменчивость вносили биопрепараты (69–87%), влияние погодных условий и взаимодействия факторов в большинстве случаев было существенным, но менее значительным (2–11%). Во все межфазные периоды выявлена прямая корреляция ($p < 0,01$) значений ФП с высотой, массой растений и площадью листьев ($r = 0,82 \dots 0,98$). Регрессионный анализ показал, что при увеличении массы растений в фазе цветения на 100 г (x_2), площади листьев на 1 тыс. м²/га (x_3), ФП за период вегетации (y_3) повышался соответственно на 120 тыс. м² · сут/га (3) и 50 тыс. м² · сут/га (4):

$$y_3 = 1,1972x_2 + 450,01, \quad R^2 = 0,8673; \quad (3)$$

$$y_3 = 49,689x_3 - 418,12, \quad R^2 = 0,9173. \quad (4)$$

Рассчитанные уравнения позволяют оперативно и с высокой точностью ($R^2 = 0,87 \dots 0,92$)

прогнозировать значение ФП за вегетацию по массе растений и площади листьев в фазе цветения.

В годы исследования картофель сорта Якутянка в период вегетации поражался различными болезнями. Наибольшую распространенность в контрольном варианте имели черная ножка (в среднем 8,0%), обыкновенная парша (7,9%), обыкновенная мозаика (6,1%), наименьшую – ризоктониоз (2,0%), морщинистая мозаика (4,1%) (см. табл. 3). Предпосадочная обработка клубней Фитоспорином-М снижала поражение растений болезнями в 1,8–6,8 раза (в среднем 2,9 раза), суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 в 1,5–2,7 раза (в 1,8 раза). В засушливых условиях распространенность обыкновенной парши и ризоктониоза возрастала в 1,4–1,8 раза, черной ножки, морщинистой и обыкновенной мозаики снижалась в 1,6–2,5 раза и более на вариантах с применением биопрепаратов. Доля влияния препаратов в изменчивости распространенности болезней составляла 45–97%, погодных условий 2–38%, взаимодействия факторов 4–11%. Установлена обратная зависимость поражения картофеля болезнями с высотой, массой и площадью листьев растений, ФП ($r = -0,33 \dots -0,96$), что свидетельствует о меньшей степени поражения более мощных и развитых растений независимо от условий выращивания. Выявлена существенная пря-

Табл. 3. Влияние предпосадочной обработки клубней биопрепаратами на распространенность болезней картофеля (среднее за 2007–2009 гг.), %

Table 3. Effect of pre-planting treatment of tubers with biopreparations on the prevalence of potato diseases (average for 2007–2009), %

Вариант (фактор)	Обыкновенная парша	Ризоктониоз	Черная ножка	Морщинистая мозаика	Обыкновенная мозаика
<i>Поражение растений</i>					
Контроль	7,9	2,0	8,0	4,3	6,1
Фитоспорин-М	2,9	0,0	3,7	2,4	0,9
ТНП-3 + ТНП-5	5,4	0,0	4,0	4,1	2,3
<i>Доля влияния факторов и их взаимодействия</i>					
Препарат (фактор А)	69,4**	87,9**	45,0**	48,1**	96,7**
Год (фактор В)	22,4**	3,1**	38,2**	37,0**	1,6**
А × В	5,3**	6,2**	11,0**	3,5	0,4

мая корреляция распространенности обыкновенной парши с заболеванием растений ризоктониозом ($r = 0,84$) и обыкновенной мозаикой ($r = 0,76$); ризоктониоза – с заболеванием обыкновенной мозаикой ($r = 0,90$); черной ножки – с заболеванием морщинистой и обыкновенной мозаикой ($r = 0,71...0,74$). Между поражением растений обыкновенной и морщинистой мозаикой установлена средняя положительная корреляция ($r = 0,65$).

По результатам исследования разработан новый способ борьбы с комплексом болезней картофеля (ризоктониозом, черной ножкой морщинистой и обыкновенной мозаикой), основанный на замачивании клубней в растворе суспензии штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 (патент № 2428008 РФ от 10.09.2011).

Обработка клубней перед посадкой биопрепаратами достоверно увеличивала количество клубней к уборке на 11%. Наибольший вклад в изменчивость показателя вносили препараты (41%), влияние погодных условий и взаимодействия факторов было незначительным (1–8%) (см. табл. 4). Выявлена прямая корреляция ($p < 0,01$) количества клубней в кусте с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, ФП ($r = 0,84...0,97$). Количество клубней существенно уменьшалось при поражении картофеля ризоктониозом, обыкновенной паршой, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80...-0,91$).

Предпосадочная обработка клубней биофунгицидом Фитоспорин-М повышала массу клубней в кусте на 190 г (57%), суспензией

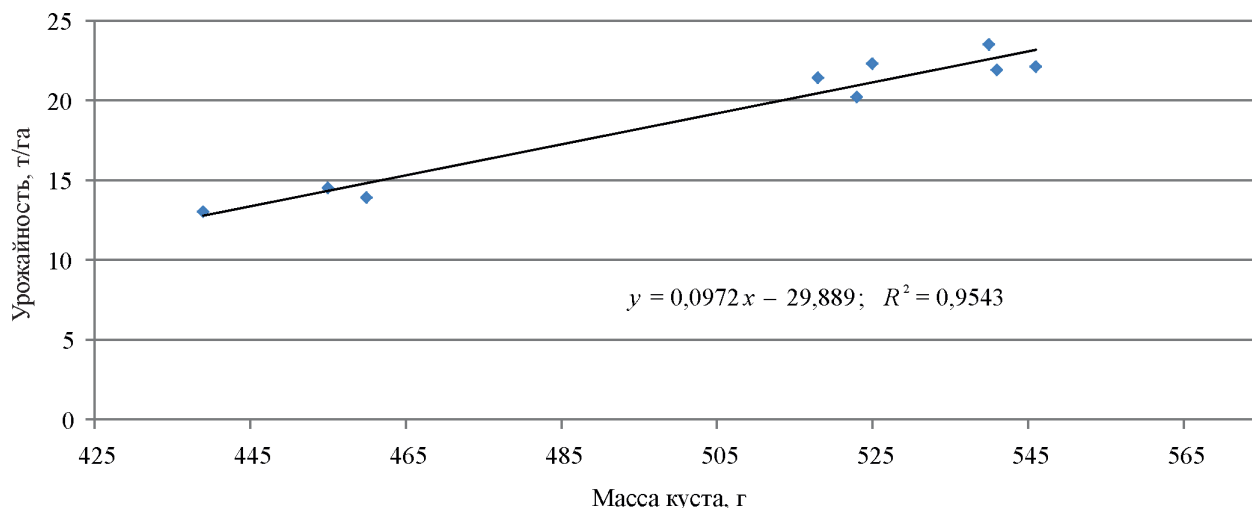
штаммов *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 на 161 г (48%) в сравнении с контролем (см. табл. 4). Основной вклад в ее изменчивость внесли биопрепараты (95%). Выявлена сильная прямая связь ($p < 0,01$) массы клубней в кусте с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, ФП ($r = 0,81...0,98$). Масса клубней достоверно снижалась при поражении картофеля ризоктониозом, обыкновенной мозаикой, обыкновенной паршой ($r = -0,85...-0,96$).

Урожайность картофеля сорта Якутянка изменялась в годы исследования от 13,0 до 23,5 т/га ($V = 22\%$). При обработке клубней перед посадкой биопрепаратами она увеличивалась в сравнении с контролем на 7,4–8,8 т/га (54–64%), а в варианте с Фито-

Табл. 4. Влияние биопрепаратов на элементы структуры и урожайность картофеля сорта Якутянка (среднее за 2007–2009 гг.)

Table 4. Influence of biopreparations on structure elements and yield of potato variety Yakutyanka (average for 2007–2009)

Вариант (фактор)	Количество клубней, шт./куст	Масса клубней, г/куст	Урожайность, т/га
<i>Продуктивность</i>			
Контроль	8,4	334	13,8
Фитоспорин-М	9,3	524	22,6
ТНП-3 + ТНП-5	9,4	495	21,2
<i>Доля влияния факторов и их взаимодействия, %</i>			
Препарат (фактор А)	41,1**	94,5**	95,8**
Год (фактор В)	8,3	3,1	2,4
А × В	0,7	1,0	0,9



Теоретическая линия регрессии при прямолинейной корреляции между урожайностью клубней и сырой массой растений в фазе цветения

Theoretical regression line for a straight-line correlation between tuber yield and raw weight of plants in the flowering phase

спорином-М была на 1,4 т/га (6,6%) больше, чем при обработке клубней суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 (см. табл. 4). Основное влияние на изменчивость урожайности оказывали биопрепараты (96%). Выявлена достоверная прямая корреляция урожайности с высотой и массой растений, площадью листьев, ФП ($r = 0,82...0,98$), обратная – с поражением обыкновенной паршой, ризоктониозом, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80...-0,96$). Коэффициент регрессии показывает, что при увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г урожайность клубней повышалась на 9,7 т/га ($R^2 = 0,95$) (см. рисунок). Разница между урожайностью фактической и рассчитанной по сырой массе растений в фазе цветения составила в среднем 0,90 т/га (4,7%).

ВЫВОДЫ

1. В условиях Центральной Якутии продолжительность периода всходы – созревание картофеля сорта Якутянка изменяется от 62 до 66 дней при сумме среднесуточных температур воздуха 1048–1227°, периода посадка – созревание – от 84 до 89 дней при сумме температур 1417–1615°. Более значительно ($V = 13\%$) варьирует длительность периода посадка – всходы (18–27 дней). Предпоса-

дочная обработка клубней Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 ускоряет появление всходов на 2–4 дня.

2. Обработка клубней перед посадкой Фитоспорином-М и суспензией штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 + ТНП-5 увеличивает массу и показатели фотосинтетической деятельности растений (на 6–19%), количество (11%) и массу (48–57%) клубней, уменьшает в 1,8–2,9 раза поражение растений комплексом болезней, повышает урожайность на 7,4–8,8 т/га (54–64%). Основной вклад в изменчивость показателей вносят биопрепараты (45–96%), менее значительный – погодные условия (1–38%), взаимодействие факторов (1–11%).

3. Выявлена сильная положительная связь ($p < 0,01$) урожайности, количества и массы клубней с высотой, количеством и массой растений, площадью листьев, фотосинтетическим потенциалом ($r = 0,81...0,98$), отрицательная – с поражением ризоктониозом, обыкновенной паршой, обыкновенной мозаикой ($r = -0,80...-0,96$).

4. Между распространенностью болезней и показателями роста и фотосинтетической деятельности растений наблюдается обратная зависимость ($r = -0,33...-0,96$). В засушливых

условиях поражение обыкновенной паршой и ризоктониозом возрастает в 1,4–1,8 раза, черной ножкой, морщинистой и обыкновенной мозаикой снижается в 1,6–2,5 раза.

5. Рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие оперативно и с высокой точностью ($R^2 = 0,85...0,95$) определять площадь листьев, фотосинтетический потенциал и урожайность по массе растений. При увеличении массы куста в фазе цветения на 100 г площадь листьев повышалась на 2,3 тыс. м²/га, ФП за вегетацию на 120 тыс. м² · сут/га, урожайность на 9,7 т/га. Разница между фактическими и рассчитанными значениями составляет 2,7–4,7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азизбекян Р.Р. Биологические препараты для защиты сельскохозяйственных растений // Биотехнология. 2018. Т. 34. № 3. С. 23–32.
2. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa // *Frontiers in microbiology*. 2018. Vol. 9. P. 2213. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02213.
3. Khan N., Bano A., Babar A.M. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture // *Plos one*. 2020. Vol. 15. P. 32. DOI:10.1371/journal.pone.0231426.
4. Цветкова В.П., Масленникова В.С., Штерншис М.В., Леяк А.А., Леяк А.И. Влияние полифункциональной микробной смеси на ризоктониоз картофеля и колорадского жука // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 3. С. 26–31. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10305.
5. Масленникова В.С., Цветкова В.П., Петров А.Ф., Пастухова А.В. Влияние бактерий рода *Bacillus* на рост и продуктивность томата сорта Спок // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2021. № 1. С. 56–63. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-56-63.
6. Деревягина М.К., Васильева С.В., Белов Г.Л., Зейрук В.Н., Новикова И.И. Эффективность нового биопрепарата картофин на основе *Bacillus subtilis* при выращивании картофеля // Аграрный научный журнал. 2019. № 5. С. 8–14. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i5pp8-14>.
7. Хайруллин Р.М., Бурханова Г.Ф., Сорокань А.В., Сарварова Е.Р., Веселова С.В., Черепанова Е.А., Вологин С.Г., Замалиева Ф.Ф.,

Максимов И.В. К механизмам антивирусной активности бактерий рода *Bacillus subtilis* на растениях картофеля // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 130–135. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-130-135.

8. Осипова В.В. Влияние обработки картофеля биопрепаратом Фитоспорин-М на скороспелость, урожай и качество клубней в условиях криолитозоны // Вестник ИрГСХА. 2020. Вып. 97. С. 1–5.
9. Слепцова Т.В. Эффективность применения биологических препаратов и микроэлементов при выращивании картофеля в Якутии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 5 (377). С. 45–47. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15091.
10. Петров А.Ф., Шульга М.С., Галеев Р.Р., Гаврилец Н.В., Колбина О.Н. Совершенствование технологии производства картофеля в условиях лесостепной зоны Западной Сибири путем оптимизации применения органо-минеральных стимуляторов роста // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 2 (36). С. 58–65. DOI:10.31677/2311-0651-2022-36-2-58-65.
11. Скрябина М.П., Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П. Ферментативная активность штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, выделенных из мерзлотных почв // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2020. № 1 (33). С. 73–79. DOI: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202001011.
12. Максимова Х.И. Силосование кормовых культур с использованием биопрепаратов // Московский экономический журнал. 2019. № 3. С. 9. DOI: 10.24411/2413-046X-2019-13009.
13. Охлопкова П.П., Николаева Ф.В., Лукина Ф.А., Ефремова С.П., Яковлева Н.С. Болезни картофеля и меры борьбы с ними в условиях Якутии: монография. Якутск: Дани-Алмас, 2018. 48 с.

REFERENCES

1. Azizbekyan R.R. Biological preparations for agricultural plants protection. *Biotehnologiya = Biotechnology in Russia*, 2018, vol. 34. no. 3. pp. 23–32. (In Russian). DOI: 10.21519/0234-2758-2018-34-5-37-47.
2. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers in microbiology*, 2018, vol. 9. p. 2213. DOI:10.3389/fmicb.2018.02213.

3. Khan N., Bano A., Babar A.M. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *Plos one*. 2020, vol. 15, p. 32. DOI: 10.1371/journal.pone.02314269.
4. Tsvetkova V.P., Maslennikova V.S., Shternshis M.V., Lelyak A.A., Lelyak A.I. The effect of multifunctional microbial mixture on the Rhizoctonia blight of potato and the Colorado potato beetle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no 3. pp. 26–31. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10305.
5. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Petrov A.F., Pastukhova A.V. Influence of the bacillus genus bacteria on the growth and productivity of tomatoes of Spok variety. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2021, no. 1. pp. 56–63. (In Russian). DOI: 10.31677/2072-6724-2021-58-1-56-63.
6. Derevyagina M.K., Vasil'eva S.V., Belov G.L., Zeiruk V.N., Novikova I.I. The effectiveness of a new biological product Spud on the basis of *Bacillus subtilis* in the cultivation of potatoes. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2019, no. 5. pp. 8–14. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i5pp8-14.
7. Khairullin R.M., Burkhanova G.F., Sorokan' A.V., Sarvarova E.R., Veselova S.V., Cherepanova E.A., Vologin S.G., Zamalieva F.F., Maksimov I.V. On the mechanisms of antiviral activity of bacteria of the genus *Bacillus subtilis* on potato plants. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*, 2019, no 4. pp. 130–135. (In Russian). DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-130-135.
8. Osipova V.V. Influence of potato processing by Phytosporin-M biological product on maturity, crop and quality of tuber under conditions of cryolitzone. *Vestnik IrGSKhA = Vestnik IrGSHA*, 2020, is. 97. pp. 1–5. (In Russian).
9. Sleptsova T.V. Effectiveness of biological preparations and trace elements in potato cultivation in Yakutia. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*, 2020, no. 5 (377). pp. 45–47. (In Russian). DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15091.
10. Petrov A.F., Shul'ga M.S., Galeev R.R., Gavrilits N.V., Kolbina O.N. Improving potato production technology by optimizing the use of organomineral growth stimulants in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Innovacii i prodovol'stvennaâ bezopasnost' = Innovations and Food Safety*, 2022, no. 2 (36). pp. 58–65. (In Russian). DOI: 10.31677/2311-0651-2022-36-2-58-65.
11. Skryabina M.P., Stepanova A.M., Tarabukina N.P., Neustroev M.P. Enzymatic activity of strains of bacteria *Bacillus subtilis* isolated from frozen soils. *Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii = Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, 2020, no. 1 (33), pp. 73–79. (In Russian). DOI: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202001011.
12. Maksimova Kh.I. Silage of forage crops using biological products. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal = Moscow economic journal*, 2019, no. 3, p. 9. (In Russian). DOI: 10.24411/2413-046X-2019-13009.
13. Okhlopko P.P., Nikolaeva F.V., Lukina F.A., Efremova S.P., Yakovleva N.S. *Potato diseases and measures to combat them in Yakutia*, Yakutsk, «Dani-Almas» Publ., 2018, 48 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Слепцова Т.В.**, научный сотрудник;
адрес для переписки: Россия, 677001, Республика Саха (Якутия), Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23, корпус 1; e-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

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

AUTHOR INFORMATION

✉ **Tatyana V. Sleptsova**, Researcher; address: building 1, 23, Bestuzheva-Marlinskovo St., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677001, Russia; e-mail: SlepsovaTV@yandex.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 27.07.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 29.08.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ БУРЯТИИ

✉ Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К.

Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук

Республика Бурятия, Улан-Удэ, Россия

✉ e-mail: burniish@inbox.ru

Представлены результаты исследований в длительном (1982–2021 гг.) стационарном опыте по определению коэффициентов использования азота минеральных удобрений культурами зернопарового севооборота в условиях сухостепной зоны Бурятии. Каштановая супесчаная почва на изучаемых вариантах характеризовалась очень низким содержанием гумуса, общего азота и нитратов перед посевом культур. В период проведения исследований отмечено преобладание засушливых лет. Коэффициенты использования азота минеральных удобрений в условиях сухостепной зоны Бурятии в среднем за 39 лет исследований составляли для пшеницы 69%, овса – 54 и овса на зерносенаж – 90%. На вариацию коэффициентов значимо влияли условия увлажнения летнего периода. При экстремальной и сильной засухе они составляли 32%, при умеренной и слабой – 57% и значительно (до 124%) возрастали при благоприятном увлажнении. Использование азота туков было максимальным у третьей культуры (овса на зерносенаж) и более отзывчивым на атмосферное увлажнение. Наименьшие коэффициенты потребления и размах его изменений отмечены у овса на зерно. Первая культура севооборота (пшеница по пару) в этой оценке занимала промежуточное положение. Получены данные о влиянии почвенного увлажнения и гидротермических условий отдельных критических периодов вегетации на вариацию коэффициента использования азота минеральных туков (N_{40}) пшеницей, овсом и овсом на зерносенаж. Корреляционный анализ показал, что наиболее критичным периодом по потреблению азота пшеницей является июнь ($r = 0,61$), у овса – июль ($r = 0,51$) и июль – август для овса на зерносенаж ($r = 0,50–0,52$). Построены множественные линейные модели зависимости коэффициентов использования азотных удобрений от содержания продуктивной влаги и гидротермических условий.

Ключевые слова: коэффициент использования азотных удобрений, сухостепная зона

FERTILIZER NITROGEN USE BY CEREAL CROPS IN ARID CONDITIONS OF BURYATIA

✉ Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K.

Buryat Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

✉ e-mail: burniish@inbox.ru

The results of research in a long-term (1982–2021) stationary experiment to determine the coefficients of nitrogen use of mineral fertilizers by the crops of grain and fallow crop rotation in the conditions of the dry-steppe zone of Buryatia are presented. Chestnut loamy sand soil on the studied variants was characterized by very low content of humus, total nitrogen and nitrates before sowing of the crops. During the research period, the prevalence of dry years was noted. Nitrogen use coefficients of mineral fertilizers in the conditions of the dry-steppe zone of Buryatia on average for 39 years of research were 69% for wheat, 54% for oats and 90% for oats for grain haylage. The variation of the coefficients was significantly influenced by summer moistening conditions. They were 32% under extreme and severe drought, 57% under moderate and weak drought, and increased significantly (up to 124%) under favorable moisture conditions. The utilization of nitrogen of solid mineral fertilizers was maximum in the third crop (oats for grain haylage) and more responsive to the atmospheric moistening. The smallest consumption coefficients and the range of its changes were observed in oats for grain. The first crop of the rotation (fallow wheat) occupied an intermediate position in this

assessment. The data on the influence of soil moisture and hydrothermal conditions of separate critical periods of vegetation on the variation of the coefficient of mineral fertilizer nitrogen utilization (N_{40}) by wheat, oats, and oats for grain haylage were obtained. The correlation analysis showed that the most critical period for nitrogen consumption in wheat is June ($r = 0.61$), in oats – July ($r = 0.51$) and July–August for oats for grain haylage ($r = 0.50–0.52$). Multiple linear models of dependence of N fertilizer use coefficients on productive moisture content and hydrothermal conditions were made.

Keywords: nitrogen fertilizer utilization rate, dry steppe zone

Для цитирования: Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К. Использование азота удобрений зерновыми культурами в аридных условиях Бурятии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 15–22. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-2>

For citation: Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K. Fertilizer nitrogen use by cereal crops in arid conditions of Buryatia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 15–22. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-2>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

ВВЕДЕНИЕ

Коэффициент использования питательных веществ удобрений – один из основных критериев эффективности и экологической рациональности их применения. Интенсивность использования вносимых туков определяется не только биологическими особенностями растений, но и зависит от комплекса эдафических и метеорологических факторов, определяющих урожайность культур. Их совместное действие образует значительную вариацию почвенно-климатических условий, однако вычленив роль отдельных факторов на минеральное питание растений в краткосрочных опытах бывает затруднительно. В связи с этим математическая обработка данных многолетних полевых исследований позволяет более точно установить коэффициенты использования удобрений на определенной территории и почве в зависимости от климатических условий вегетации культур [1–4].

На каштановых почвах Забайкалья определение коэффициентов использования питательных веществ удобрений при их систематическом применении в севообороте проводили в период 1968–1997 гг. в отделе агрохимии Бурятского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Выявлено, что в шестипольном зернопаропропашном севообороте (1968–1981 гг.) использование

азота из аммиачной селитры (N_{40}) в среднем составляло 34%, под культурами четырехпольного севооборота пар – пшеница – овес – овес на зерносеяж (1982–1997 гг.) возрастало до 89% при очень высокой вариативности значений. Основными факторами, формирующими эту изменчивость, были гидротермические условия вегетации культур. Азот является наиболее дефицитным элементом, эффективность его применения на каштановых почвах Бурятии проявлялась как в условиях умеренной засухи, так и при хорошем увлажнении¹ [4–9].

Цель исследования – обобщить экспериментальный материал по изучению особенностей использования азота минеральных удобрений культурами зернопарового севооборота с определением влияния гидротермических условий вегетации на вариацию коэффициентов его использования из минеральных удобрений в сухостепной зоне Бурятии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыт проходил на опытном поле Бурятского НИИСХ в центральной сухой степи Республики Бурятия (п. Иволгинск) на зональных каштановых почвах (входит в систему Географической сети опытов с удобрениями). Эксперимент заложен в 1967 г. и состоял из 13 вариантов минеральной, органиче-

¹Ревенский В.А. Эффективность азотных удобрений на каштановых почвах Бурятии: монография. Новосибирск: Наука, 1985. 149 с.

ской и органо-минеральной систем удобрений. Однако в 1982 г. схема опыта изменена в сторону снижения доз, поскольку высокие нормы не обеспечивали запланированной продуктивности в богарных условиях сухой степи Бурятии. Наиболее оптимальной дозой минеральных удобрений принята $N_{40}P_{40}K_{40}$. Соответственно для изучения коэффициента использования азотных удобрений введен и вариант $P_{40}K_{40}$.

Плодородие супесчаной мучнистокарбонатной малогумусной супесчаной каштановой почвы на изучаемых вариантах характеризовалось очень низким содержанием гумуса, общего азота и нитратов. Содержание подвижного P_2O_5 возрастало от высокой обеспеченности на контроле до очень высокой на вариантах с удобрениями, также повышалось и содержание обменного K_2O от средней до высокой обеспеченности на этих вариантах (см. табл. 1).

Климат сухой степи Бурятии обусловлен горно-котловинным характером местности и

удаленностью от океанов. Сумма среднегодовых осадков находилась в пределах 220–340 мм, из них в период вегетации выпадало 150–240 мм. Сумма активных температур составляла 1600–1800°. Метеорологические условия в период исследований оценивали по ГТК за июнь – август по Селянинову в классификации Е.С. Улановой². Анализ корреляционных связей выявил наиболее высокую зависимость коэффициента использования азотных удобрений от гидротермических условий календарного лета ($r = 0,69$). Экстремальные и сильные засухи в течение проведения опыта (1982–2021 гг.) отмечены в течение 11 из 39 лет, или в 28% случаев. Отметим, что эффект почвенной засухи имел пролонгированное действие, особенно при периодическом наступлении. Сезоны с благоприятным увлажнением отмечены в 46% случаев (см. табл. 2).

В период исследований прошло 10 неполных ротаций зернопарового севооборота пар – пшеница – овес – овес на зерносеяж.

Табл. 1. Агрохимические показатели пахотного слоя каштановых почв опытного участка (среднее за 1982–2021 гг.)

Table 1. Agrochemical parameters of chestnut soils arable layer of the experimental plot (average for 1982–2021)

Вариант	рН вод	Гумус	N общий	P_2O_5 подвижный	K_2O обменный	N- NO_3 , мг/кг перед посевом		
		%		мг/кг		Пшеница	Овес	Овес на зерносеяж
Контроль	6,9	0,87	0,072	159 ± 12	79 ± 8	$3,5 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,4$	$3,9 \pm 0,5$
$P_{40}K_{40}$	6,9	0,95	0,077	236 ± 19	140 ± 14	$3,2 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,4$
$N_{40}P_{40}K_{40}$	6,7	1,05	0,081	240 ± 22	130 ± 23	$4,3 \pm 0,4$	$3,3 \pm 0,6$	$4,6 \pm 0,5$

Табл. 2. Гидротермические условия периода исследований

Table 2. Hydrothermal conditions of the research period

Характеристика условий увлажнения периода июнь – август		Годы ($n = 39$)
Засуха:		
экстремальная и сильная	ГТК $\leq 0,6$	1987, 1989, 2002, 2007, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 ($n = 11$)
умеренная и слабая	$0,6 < \text{ГТК} \leq 1,0$	1993, 1996, 1997, 2000, 2004, 2005, 2009, 2016, 2019, 2020 ($n = 10$)
Обеспеченное и избыточное увлажнение	ГТК $> 1,0$	1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1988, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1998, 2001, 2003, 2006, 2008, 2012, 2021 ($n = 18$)

²Уланова Е.С. Засухи в СССР и их влияние на производство зерна // Метеорология и гидрология. 1988. № 7. С. 127–134.

Минеральные удобрения (Naa, Pсд, Kх) вносили весной ежегодно разбросным методом под вспашку. Число повторений в опыте четырехкратное, площадь делянок 100 м². Коэффициент использования растениями азота удобрений (КИАУ, %) рассчитывали разностным методом между выносами элементов хозяйственным урожаем на удобренном N₄₀ P₄₀ K₄₀ и фоновом P₄₀ K₄₀ вариантах с последующим расчетом процентного показателя по отношению к количеству действующего вещества азота (40 кг/га), внесенного в почву с удобрением. Общий вынос рассчитывался по формуле

$$P_{\text{вын}} = Y_o C_o + Y_{\text{п}} C_{\text{п}},$$

где Y_o – урожайность зерна пшеницы и овса при влажности 14%, ц/га; $Y_{\text{п}}$ – урожайность соломы пшеницы и овса при влажности 17%, ц/га; C_o и $C_{\text{п}}$ – содержание азота в основной и побочной продукции, %.

Для овса, убранного на зеленую массу и зерносенаж, формула имела вид

$$P_{\text{вын}} = Y_o C_o,$$

где Y_o – урожайность зеленой массы овса, ц/га; C_o – содержание азота в зеленой массе, %.

В отдельные годы овес не давал зерна, поэтому учитывали его зеленую массу. Для приведения зеленой массы овса и зерносенажа от уборочной (55%) к стандартной влажности применяли понижающий коэффициент 0,542³. В почвах определяли гумус, общий

азот, нитратный азот, подвижные соединения фосфора и калия, pH согласно методическим рекомендациям⁴.

Влияние климатических условий на изменение коэффициентов использования азота из удобрений определяли для каждого фактора на основе корреляционных зависимостей. Регрессионные модели построены на основе метода наименьших квадратов по наиболее значимым предикторам⁵.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование азотных удобрений связано как с биологическими особенностями культур, так и назначением продукции. Технология возделывания культур зернопарового севооборота подразумевала различные сроки посева: I и III декады мая для пшеницы и овса на зерно соответственно, II декада июня – для овса на зерносенажную массу. В соответствии с этим растения проходили критические фазы развития в различные по влагообеспеченности периоды.

Наименьшее потребление азотных удобрений овсом связано с его низкой продуктивностью относительно пшеницы и овса на зерносенаж (см. табл. 3).

При 73%-й вероятности наступления засушливого сезона с конца мая по II декаду июня именно вторая культура проходит критический период от всходов до выхода в трубку в наименее благоприятных условиях атмосферного и почвенного увлажнения.

Табл. 3. Коэффициент использования азотных удобрений культурами зернопарового севооборота (1982–2021 гг.), %

Table 3. Nitrogen fertilizer use coefficient by crops of grain and fallow crop rotation (1982–2021), %

Культура в севообороте	Коэффициент			
	ГТК ≤ 0,6	0,6 < ГТК ≤ 1,0	1,0 < ГТК	Средний
Первая (пшеница)	38	44	126	69
Вторая (овес)	24	49	89	54
Третья (овес на зерносенаж)	33	78	158	90
В севообороте	32	57	124	71

³Ягодин Б.А., Жуков В.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / под ред. Б.А. Ягодина. М.: Колос, 2002. 584 с.

⁴Методические рекомендации по изучению показателей плодородия почв, баланса гумуса и питательных веществ в длительных опытах. М.: Почвенный институт, 1987. 80 с.

⁵Елисеева И.И., Курьшева С.В., Гордеенко Н.М., Бабаева И.В., Костеева Т.В., Михайлов Б.А. Практикум по эконометрике. М.: Финансы и статистика, 2005. 192 с.

Пшеница по пару в большей степени обеспечена почвенной влагой парового поля, чем овес, который использует лишь его последствие. В связи с этим стратегию возделывания третьей культуры проводили по типу однолетних трав для получения максимального выхода зерносеяжа. Интенсивное нарастание вегетативной массы технологически подводило к наиболее влагообеспеченному периоду – со II декады июля по II декаду августа, чтобы азот удобрений более полно использовался в синтетических процессах в период максимального роста от выхода в трубку до выметывания. Среднегодовые значения КИАУ для культур севооборота возрастали в ряду овес → пшеница → овес на зерносеяж.

При различных метеорологических ситуациях КИАУ в севообороте был закономерно наименьшим (32%) в условиях экстремальной и сильной засухи, возрастал до 57% при умеренной и слабой и достигал максимума (124%) при достаточном увлажнении. Возрастание КИАУ в благоприятные годы обусловлено как усилением прайминг-эффекта, так и увеличением последствия ежегодного внесения минеральных удобрений после засушливых лет⁶ [10]. Вне зависимости от условий увлажнения в целом сохранилась общая тенденция распределения КИАУ среди культур в различные по влагообеспеченности периоды.

Азотное питание культур обусловлено физиологическими особенностями развития растений, темпами прироста в течение периода вегетации. В связи с этим представляет

интерес определение наиболее критических показателей среды и периодов их влияния на КИАУ. В качестве признак-факторов для определения корреляционных связей (r) отобраны показатели ГТК в различные периоды вегетации и содержания продуктивной влаги в почве при посеве (ПВ, мм) в слое 0–50 см (см. табл. 4).

Пшеница, используя запасы влаги и минерализованного азота, накопленные в паровом поле по пару, находилась в наиболее привилегированном положении. Корреляционный анализ показал, что наиболее критичным периодом по потреблению азота этой культурой является июнь ($r = 0,61$).

В I–II декадах июня проходит фаза кущения, закладывается вторичная корневая система и в целом габитус растения, в III декаде в фазу выхода в трубку происходит нарастание вегетативной массы, формирование репродуктивных органов пшеницы (число колосков в колосе и цветков в колосках) и резко увеличивается водопотребление⁷ [11]. В несколько меньшей степени на потребление азота повлияли условия июля (озерненность колоса) и августа (налив зерна). В связи с этим наиболее значимым предиктором, определяющим КИАУ пшеницы, был ГТК периода июнь – август ($\text{ГТК}_{\text{VI-VIII}}$). Содержание продуктивной влаги при посеве в полевом слое (ПВ, мм) влияло на КИАУ в средней степени. Модель, построенная по этим факторам, имела вид множественной линейной регрессии:

Табл. 4. Влияние условий увлажнения на коэффициент использования азота удобрений культурами зернопарового севооборота ($n = 39$)

Table 4. Influence of humidification conditions on the nitrogen utilization rate of fertilizers by crops of grain-fallow crop rotation ($n = 39$)

Культура	ПВ, мм	ГТК (по Селянинову)							
		Май	Июнь	Июль	Август	Май – август	Июнь – июль	Июнь – август	Июль – август
Пшеница	0,44	0,01	0,61	0,42	0,44	0,66	0,66	0,73	0,60
Овес	0,31	–0,14	0,28	0,51	0,40	0,47	0,52	0,61	0,63
Овес на зерносеяж	0,37	–0,05	0,23	0,50	0,52	0,54	0,49	0,65	0,69

⁶Семенов В.М. Современные проблемы и перспективы агрохимии азота // Проблемы агрохимии и экологии. 2008. № 1. С. 55–63.

⁷Осипов В.И. Зерновые культуры в Бурятии. Улан-Удэ: Бурятское книж. изд-во. 1982. 88 с.

$$\text{КИАУ (пшеница)} = 108,9 \text{ ГТК}_{\text{VI-VIII}} + 2,2 \text{ ПВ} - 125,4, R^2 = 0,61.$$

Развитие второй культуры (овса) обычно запаздывало более чем на 2 нед от пшеницы. Это связано как со смещением сроков посева, так и с большей продолжительностью начальных фаз развития в условиях типичной засухи. В условиях опыта межфазовый период выход в трубку – выметывание проходил со II по III декаду июля. Данный период считается наиболее критическим для овса в сухой степи, поскольку расходуется до 55–65% от общего водопотребления [12]. При значительном нарастании вегетативной массы усиливалось и азотное питание ($r = 0,51$). На потребление азота овсом влияли и осадки августа ($r = 0,40$), что связано с рядом причин: налив зерна овса обычно проходил в III декаде августа; август является определяющим месяцем для продуктивности овса в тех случаях, когда не удастся получить урожай зерна. Так, в период исследований урожайность овса в 20% случаев формировалась в виде зеленой массы второй волны всходов и подгона. Этому способствовали засуха в первой половине лета и благоприятное увлажнение во второй. Влияние продуктивной влаги в почве при посеве было слабым ($r = 0,29$). Модель зависимости использования азота удобрений овсом от гидротермических условий июля (ГТК_{VII}) и августа (ГТК_{VIII}), а также содержания продуктивной влаги в слое 0–50 см при посеве имела вид

$$\text{КИАУ (овес)} = 37,4 \text{ ГТК}_{\text{VII}} + 34,4 \text{ ГТК}_{\text{VIII}} + 0,55 \text{ ПВ} - 40,3, R^2 = 0,40.$$

Третья культура севооборота (овес на зерносе́наж) проходила стадии кущения, выхода в трубку, выметывания и цветения в июле – августе. Условия тепло- и влагообеспеченности этого периода ($\text{ГТК}_{\text{VII-VIII}}$) имели определяющее влияние на азотное минеральное питание культуры ($r = 0,50$ – $0,52$). Влияние запасов влаги при посеве (ПВ, мм) было менее значимым ($r = 0,37$). Зависимость коэффициента потребления азота туков от условий атмосферного и почвенного увлажнения наиболее адекватно выражалась функцией

$$\text{КИАУ (овес на зерносе́наж)} = 110,6 \text{ ГТК}_{\text{VII-VIII}} + 2,3 \text{ ПВ} - 94,4, R^2 = 0,51.$$

Построенные модели показали, что вариации коэффициентов потребления азота из минеральных удобрений на 40–61% обусловлены изменениями атмосферного и почвенного увлажнения. Наиболее значимым оказалось действие гидротермических условий на азотное питание овса на зерносе́наж и пшеницы. Изменение ГТК на 0,1 вызывало изменение КИАУ соответственно на 11,1 и 10,8%. Для овса данный показатель был намного ниже (3,7%). Аналогичное влияние почвенного увлажнения перед посевом культур было значительно меньшим. Каждый миллиметр продуктивной влаги соответствовал изменению КИАУ на 2,2–2,3% для пшеницы и овса на зерносе́наж и 0,6% – для овса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе каштановая почва – климат – растение – удобрение интенсивность азотного питания культур зернопарового севооборота находится в тесной связи с метеорологическими условиями в наиболее критические периоды питания. Различия культур по потреблению азота туков обусловлены особенностями роста и развития культур, технологией их возделывания.

Среднегодовые коэффициенты использования азота минеральных удобрений в условиях сухостепной зоны Бурятии составляют для пшеницы 69%, овса – 54 и овса на зерносе́наж – 90%. Отмечена высокая вариация этих коэффициентов, которая обусловлена значительной изменчивостью условий увлажнения в критические периоды роста и развития культур. Относительно большая выборка данных полевого опыта позволяет выявить влияние гидротермических условий и почвенного увлажнения на коэффициенты потребления азота туков. На азотное питание пшеницы в большей степени влияют ГТК за июнь – август ($r = 0,73$), овса и овса на зерносе́наж – за июль – август ($r = 0,63$ – $0,69$). Влияние почвенного увлажнения в период посева значительно слабее ($r = 0,31$ – $0,44$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамзиков Г.П. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы // *Земледелие*. 2022. № 1. С. 3–9. DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
2. Завалин А.А., Соколов О.А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирования // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019. № 4 (370). С. 71–75. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070.
3. Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на вынос элементов питания зерновыми культурами в степи Поволжья // *Плодородие*. 2020. № 2 (113). С. 17–20. DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.05.
4. Новиков М.Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах // *Агрохимия*. 2020. № 8. С. 60–69. DOI: 10.31857/S0002188120080086.
5. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К. Эффективность применения удобрений под культуры зернопарового севооборота в сухостепной зоне Забайкалья // *Земледелие*. 2022. № 7. С. 32–36. DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
6. Кудеяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России // *Агрохимия*. 2019. № 12. С. 13–15. DOI: 10.31857/S0002188120080086.
7. Кудрявцев А.Е., Гуггенбергер Г., Иллигер П., Стецов Г.Я., Юров В.В. Экологические аспекты эволюции плодородия при интенсивном использовании почвенных ресурсов аридных территорий // *Агрохимический вестник*. 2020. № 1. С. 14–24.
8. Назаренко П.Н., Пургин Д.В., Кравченко В.И. Влияние севооборотов, обработки на состояние показателей плодородия каштановой почвы за 50 лет интенсивного использования в пашне в условиях Кулундинской степи Алтайского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. № 9 (167). С. 64–72.
9. Будажапов Л.-З.В. Биокинетический цикл азота и оборот азотных пулов: монография. М.: ВНИИА, 2019. 287 с.
10. Гаркуша А.А., Усенко В.И., Литвинцева Т.А., Кравченко В.И., Пургин Д.В., Щербакова А.А. Реакция яровой пшеницы и овса на средства интенсификации и приемы обработки кашта-

новых и черноземных почв на юге Западной Сибири // *Земледелие*. 2021. № 7. С. 30–35.

11. Алферов А.А., Чернова Л.С. Устойчивость агроэcosystemы при применении удобрений и биопрепаратов // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 3. С. 35–37.
12. Любимова А.В., Мамаева В.С., Менищикова А.А. Генетическая засухоустойчивость современных сортообразцов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 6 (221). С. 49–59.

REFERENCES

1. Gamzikov G.P. Precision farming in Siberia: realities, challenges and prospects. *Zemledelie = Zemledelie*, 2022, no. 1, pp. 3–9. (In Russian). DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
2. Zavalin A.A., Sokolov O.A. Utilization by plants of nitrogen fertilizer and its regulation. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*, 2019, no. 4 (370), pp. 71–75. (In Russian). DOI: 10.24411/2587-6740-2019-14070.
3. Pron'ko V.V., Yaroshenko T.M., Klimova N.F., Zhuravlev D.Yu. Influence of mineral fertilizers and weather conditions on the nutrients removal with grain crops in the steppe of the Volga region. *Plodородие = Plodородие*, 2020, no. 2 (113), pp. 17–20. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.05.
4. Novikov M.N. Biological methods of effective use of nitrogen of soil, fertilizers, symbiotic fixation in field agrocenoses. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2020, no. 8, pp. 60–69. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188120080086.
5. Biltuev A.S., Budazhapov L.V., Ulanov A.K. Efficiency of fertilizers usage for crops of grain-fallow crop rotation in the dry-steppe zone of Western Transbaikalia. *Zemledelie = Zemledelie*, 2022, no. 7, pp. 32–36. (In Russian). DOI: 10.24412/0004-3913-2922-1-3-9.
6. Kudeyarov V.N. Agrogeochemical cycles of carbon and nitrogen in modern agriculture of Russia. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2019, no. 12, pp. 13–15. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188120080086.
7. Kudryavtsev A.E., Guggenberger G., Illiger P., Stetsov G.Y., Yurov V.V. Ecological aspects of soil fertility evolution during intensive use of soil resources in arid ecosystems. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*, 2020, no. 1, pp. 14–24. (In Russian).

8. Nazarenko P.N., Purgin D.V., Kravchenko V.I. The effect of crop rotation and tillage on fertility indices of chestnut soil for 50 years of intensive use as arable land under the conditions of the Kulunda steppe of the Altai Region. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogouniversiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018, no. 9 (167), pp. 64–72. (In Russian).
9. Budazhapov L.-Z.V. *The biokinetic cycle of nitrogen and the turnover of nitrogen pools*. Moscow, VNIIA Publ., 2019. 287 p. (In Russian).
10. Garkusha A.A., Usenko V.I., Litvintseva T.A., Kravchenko V.I., Purgin D.V., Shcherbakova A.A. Response of spring wheat and oat to the means of intensification and methods of processing chestnut and chernozem soils in the south of Western Siberia. *Zemledelie = Zemledelie*, 2021, no. 7, pp. 30–35. (In Russian).
11. Alferov A.A., Chernova L.S. Sustainability of the agroecosystem in the application of fertilizers and biopreparations. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences*, 2019, no. 3, pp. 35–37. (In Russian). DOI: 10.31857/S2500-26272019335-37.
12. Lyubimova A.V., Mamaeva V.S., Menshikova A.A. Genetic drought resistance of modern oat varieties as a response to global climate change. *Agrarnii Vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2022, no. 6 (221), pp. 49–59. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Билтуев А.С.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 670045, г. Улан-Удэ, ул. Третьякова, 25з; e-mail: burniish@indox.ru

Будажаров Л.В., доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник

Уланов А.К., доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexander S. Biltuev**, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher; **address:** 25z, Tret'yakova St., Ulan-Ude, 670045, Russia; e-mail: burniish@indox.ru

Lubsan V. Budazhapov, Doctor of Science in Biology, Corresponding Member RAS, Head Researcher

Alexander K. Ulanov, Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 02.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 09.08.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023



ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ И ГИБРИДОВ РАПСА ЯРОВОГО В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Калабина Д.В.¹, Лыбенко Е.С.², ✉ Хлопов А.А.²

¹Акционерное общество Агрокомбинат Племзавод «Красногорский»

Киров, Россия

²Вятский государственный агротехнологический университет

Киров, Россия

✉ e-mail: akhlopov@yandex.ru

В последние годы в Российской Федерации отмечена тенденция увеличения посевных площадей под рапсом, ареал которого постоянно расширяется. В одном из хозяйств Кировской области проведены исследования по хозяйственно-биологической оценке сортов и гибридов рапса ярового. В сравнительном аспекте в производственных условиях исследованы перспективные сорта и гибриды. Изучена полевая всхожесть семян, определена сохранность растений к моменту уборки. Дана оценка продолжительности межфазных и вегетационного периодов перспективных сортов и гибридов ярового рапса, проведено сравнение урожайности их семян. Представлен анализ элементов структуры продуктивности данных сортов и гибридов. В эксперименте высеяны сорта ярового рапса Герос, Кампино, Ярило, полученные в условиях хозяйства и имеющие соответствующие документы о качестве, и гибриды первого поколения Джой, Джаз, Гефест, Джокер, Джером, Джерри. При оценке продолжительности вегетационного периода установлено, что все образцы по биологическим ритмам укладываются в вегетационный период Кировской области и относятся к группе среднеспелых. Полевая всхожесть изучаемых сортов и гибридов в среднем за годы исследования колебалась от 48,8 до 75,8%. В среднем за 2 года наиболее высокая полевая всхожесть отмечена у гибридов первого поколения Джокер и Гефест (75,8 и 69,1% соответственно). Сохранность растений к уборке выше, чем у контроля (84%), в среднем за 2 года отмечена у сортов Кампино и Ярило. По урожайности семян достоверно превзошли контроль (15,5 ц/га) гибриды Джерри F_1 (16,7) и Джокер F_1 (16,2), сорт Ярило (16,3 ц/га). По числу стручков на одном растении в среднем за 2 года достоверно превзошли контроль (358) гибриды Джой (450), Джокер (482) и сорт Ярило (459).

Ключевые слова: рапс яровой, урожайность, структура продуктивности, изучение сортов и гибридов, хозяйственно-биологическая оценка

ECONOMIC AND BIOLOGICAL EVALUATION OF SPRING RAPE VARIETIES AND HYBRIDS UNDER CONDITIONS OF THE KIROV REGION

Kalabina D.V.¹, Lybenko E.S.², ✉ Khlopov A.A.²

¹JSC Multi-unit agricultural enterprise Stud Farm "Krasnogorsky"

Kirov, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University

Kirov, Russia

✉ e-mail: akhlopov@yandex.ru

In recent years there has been a tendency in the Russian Federation to increase the area under rapeseed, the area of which is constantly expanding. Research on economic and biological evaluation of spring rape varieties and hybrids was carried out in one of the farms of the Kirov region. Promising varieties and hybrids were studied under comparative aspect in production conditions. The seeds field

germination was studied, the safety of the plants by the time of harvesting was determined. The duration of interphase and vegetation periods of the promising varieties and hybrids of spring rape was estimated, the yield of their seeds was compared. Analysis of the productivity structure elements of these varieties and hybrids is presented. In the experiment spring rape varieties Heros, Campino, Yari-lo, obtained under farm conditions and having appropriate quality documents, and the first generation hybrids Joy, Jazz, Hephaestus, Joker, Jerome, Jerry were sown. When assessing the duration of the vegetation period, it was found that all the samples by biological rhythms fit into the vegetation period of the Kirov region and belong to the medium-maturing group. Field germination of the studied varieties and hybrids on average during the years of the study ranged from 48.8 to 75.8%. On average for 2 years, the highest field germination was observed in the first generation hybrids Joker and Hephaestus (75.8 and 69.1%, respectively). Preservation of plants for harvesting higher than the control (84%), on average for 2 years was observed in the varieties Campino and Yarilo. In terms of seed yield, hybrids Jerry F_1 (16.7 c/ha) and Joker F_1 (16.2) and the variety Yarilo (16.3 c/ha) significantly outperformed the control (15.5 c/ha). Hybrids Joy (450), Joker (482) and the variety Yarilo (459) reliably surpassed the control (358) by the number of pods on one plant on average for 2 years.

Keywords: spring rape, yield, productivity structure, study of varieties and hybrids, economic and biological assessment

Для цитирования: Калабина Д.В., Лыбенко Е.С., Хлопов А.А. Хозяйственно-биологическая оценка сортов и гибридов рапса ярового в условиях Кировской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-3>

For citation: Kalabina D.V., Lybenko E.S., Khlopov A.A. Economic and biological evaluation of spring rape varieties and hybrids under conditions of the Kirov region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Российской Федерации растет потребность в производстве высококачественных растительных масел пищевого и технического назначения. Из масличных культур на территории нашей страны распространение получили подсолнечник, соя, рапс и лен масличный. Яровой рапс является одновременно масличной и кормовой культурой. Рапсовое масло по мировым объемам потребления находится на пятом месте после сои, хлопчатника, арахиса и подсолнечника [1–3]. Известно, что новые современные сорта и гибриды отличаются практически полным отсутствием эруковой кислоты в масле и глюкозинолатов в шроте. В связи с этим рапсовое масло стало пригодно для пищевых целей, жмых и шрот используют для корма животным [4–7].

Жирнокислотный состав рапсового масла достаточно близок к оливковому. Рапсовое масло содержит меньше насыщенных жирных кислот и большее количество мононе-

насыщенных, а также, что особенно ценно, – полиненасыщенных жирных кислот. Омега-3 и Омега-6 в рапсовом масле находятся в оптимальном для организма человека соотношении 1 : 2 [8–11]. Зеленая масса рапса достаточно питательна. Ее охотно поедают многие виды домашних животных. Содержание протеина в зеленой массе рапса составляет 3,9%, что на 0,4–0,8% больше, чем у люцерны и клевера [12, 13].

Рапс – хороший предшественник для зерновых культур. Благодаря глубокому проникновению корней растения рапса перемещают питательные вещества почвы из нижних слоев в верхние. Эту культуру условно называют «растительный плуг». Почва после рапса оструктуренная и достаточно рыхлая, что позволяет не проводить осеннюю основную обработку почвы под яровые [14, 15].

В Российской Федерации в 2005 г. площадь, занятая посевами рапса, составляла 244 тыс. га, к 2021 г. увеличилась до 1,7 млн га за счет введения в севооборот

ярового рапса. В Кировской области посевные площади рапса в 2022 г. возросли и составили 16,7 тыс. га, что больше на 34% по сравнению с 2021 г. Урожай семян в 2021 г. превысил прошлогодний результат более чем в 1,7 раза. Половину областного урожая вырастили аграрии трех районов: Куменского, Немского и Кирово-Чепецкого¹.

По состоянию на 2021 г. в Государственный реестр селекционных достижений включены по Волго-Вятскому региону 45 сортов и гибридов ярового рапса, из них по Кировской области – лишь шесть сортов и один гибрид. Направление исследований актуально и соответствует задачам, сформулированным в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг., подпрограмме «Развитие селекции и семеноводства масличных культур».

Цель исследования – изучить в сравнительном аспекте перспективные сорта и гибриды ярового рапса в производственных условиях.

Задачи исследования:

- изучить полевую всхожесть семян, определить сохранность растений к моменту уборки;
- оценить продолжительность межфазных и вегетационного периодов перспективных сортов и гибридов ярового рапса;
- сравнить урожайность их семян;

– провести анализ элементов структуры продуктивности данных сортов и гибридов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыты заложены в отделении Каринка АО Агрокомбинат Племзавод «Красногорский», которое расположено в центральной агроклиматической зоне Кировской области. На территории хозяйства преобладают дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы, среднее содержание гумуса 2%. В среднем на 1 га пахотного горизонта приходится 30 кг азота, 249 – калия, 382 кг фосфора. Кислотность почвы колеблется от сильно кислой до нейтральной (рН 4,5–6,0).

Климат умеренно континентальный. Вегетационный период продолжается 157 сут, из которых 120 сут бывают со среднесуточной температурой воздуха выше 10 °С. Средние многолетние показатели по количеству осадков и средней температуре воздуха за вегетационный период представлены в табл. 1.

Погодные условия 2021 и 2022 гг. значительно различались по количеству выпавших осадков и средней температуре воздуха. Так, за летние месяцы 2021 г. выпало осадков на уровне средних показателей за 5 лет, в 2022 г. осадков было значительно больше, чем в среднем за 2016–2022 гг. Среднемесячная температура воздуха мая в 2021 г. оказалась почти наполовину ниже средней за по-

Табл. 1. Метеорологические условия за 2021, 2022 гг.

Table 1. Meteorological conditions for 2021, 2022

Показатель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
<i>Сумма осадков, мм</i>					
2021 г.	58,0	63,0	92,0	38,0	79,0
2022 г.	53,0	118,0	130,0	18,0	81,0
Среднее за 2016–2022 гг.	61,2	84,6	128,0	62,4	78,2
<i>Средняя температура воздуха, °С</i>					
2021 г.	15,8	19,9	19,2	18,8	7,3
2022 г.	8,5	16,1	20,0	20,0	9,0
Среднее за 2016–2022 гг.	14,8	19,1	22,9	20,3	11,5

¹Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (официальный сайт). URL: <https://reestr.gossortrf.ru/> (дата обращения 24.09.22).

следние 5 лет. Температура сентября за годы проведения исследований также была ниже среднемноголетних значений.

В эксперименте высеяны сорта ярового рапса Герос, Кампино, Ярило, полученные в условиях хозяйства и имеющие соответствующие документы о качестве, и гибриды первого поколения Джой, Джаз, Гефест, Джокер, Джером, Джерри, которые приобретены в ООО «КВС РУС» (Липецк).

Предшественником в эксперименте были многолетние травы. Агротехника соответствовала технологии возделывания, применяемой в хозяйстве. С осени проводили глубокое чизелевание на глубину до 40 см. Предпосевная обработка поля включала боронование почвы тяжелой зубовой бороной под углом к чизелеванию на глубину 3–5 см и культивацию почвы под углом к боронованию на глубину 6–8 см. Под культивацию внесли карбамид в дозе 150 кг/га в физическом весе. Посев произведен на глубину 2–3 см, способ

посева рядовой с междурядьями 10 см. Одновременно с посевом внесена диаммофоска в количестве 150 кг/га в физическом весе. Семена гибридов приобретены инкрустированными (протравленными), собственные семена заблаговременно протравлены препаратом Селест Топ, КС в дозировке 15 л/т с помощью самоходного протравителя ПС-10. Норма высева семян рапса представлена в табл. 2.

В фазе 3–6-го настоящего листа проведена обработка посевов гербицидом Мегалит ВР (расход препарата 0,35 л/га). Против крестоцветной блошки применяли Восторг КС (0,15 л/га). В начале бутонизации рапса провели обработку посевов инсектицидом Данадим Эксперт, КЭ (1,0 л/га). При побурении семян в стручках среднего яруса (за 10 дней до уборки) растения подвергли десикации контактным десикантом Регулят Супер, ВР (2 л/га). Уборку проводили прямым комбайнированием.

Площадь делянки 150 м², повторность опыта пятикратная, размещение делянок систематическое^{2, 3}. Математическая обработка данных проведена с использованием статистического и дисперсионного анализа^{4, 5} с использованием программного обеспечения Microsoft Office 2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность сельскохозяйственных растений определяется многими факторами. Одними из них являются полевая всхожесть семян и сохранность растений к уборке. Не все взошедшие семена сохраняются к уборке. Они могут погибнуть от болезней, повреждаться вредителями, не выдерживать конкуренцию с сорняками и прочих факторов, поэтому перед уборкой принято считать число сохранившихся растений. Полевая всхожесть семян и число сохранившихся растений изу-

Табл. 2. Норма высева семян рапса, шт./м²

Table 2. Rapeseed seeding rate, pcs./m²

Вариант	Рекомендуемая норма (при 100%-й посевной годности)	Фактическая норма с учетом посевной годности	
		2021 г.	2022 г.
Герос (контроль)	85	100	101
Кампино	97	115	114
Ярило	94	110	112
Джой F_1	75	86	86
Джаз F_1	75	86	86
Гефест F_1	75	86	86
Джокер F_1	75	86	86
Джером F_1	75	86	86
Джерри F_1	75	86	86

²Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2022. 538 с.

³Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / В.М. Лукомец, Н.М. Тишков, В.Ф. Баранов и др. / под общ. ред. В.М. Лукомца. Краснодар: ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2010. 327 с.

⁴Ваулин А.В. Определение достоверности средних многолетних показателей краткосрочных полевых опытов при обработке результатов исследований методом дисперсионного анализа // Агрохимия. 1998. № 12. С. 71–75.

⁵Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 351 с.

чаемых сортов и гибридов к уборке представлены в табл. 3.

Полевая всхожесть сортов и гибридов в среднем за годы исследования колебалась от 48,8 до 75,8%. Высокую полевую всхожесть показали семена гибридов Джокер и Гефест – 75,8 и 69,1% соответственно. Сохранность растений к уборке у контроля была на уровне 84%. Выше этого значения сохранность растений отмечена у сортов Кампино и Ярило.

В результате фенологических наблюдений проведен анализ продолжительности межфазных периодов ярового рапса, которая раз-

личалась за 2 года исследования. Продолжительность вегетационного периода у сортов рапса оказалась короче на 7 сут по сравнению с гибридами. Следовательно, продолжительность межфазных периодов у растений-гибридов на 2–3 сут длиннее. Результаты фенологии показали, что изучаемые линейные сорта и гибриды по биологическим ритмам укладываются в вегетационный период Кировской области и относятся к группе среднеспелых (см. табл. 4).

Величина урожайности – один из важных факторов при осуществлении выбора пригодности сорта к возделыванию. В 2021 г. урожайность семян сорта Герос составила 17,2 ц/га, в 2022 г. – 13,9 ц/га. Урожайность достоверно выше, чем у контроля, в 2021 г. отмечена у гибридов первого поколения Джерри, Джокер и у сорта Ярило. В 2022 г. достоверного превышения контроля по урожайности семян не выявлено. В среднем за 2 года по урожайности семян достоверно превзошли контроль (15,5 ц/га) гибриды Джерри F_1 (16,7 ц/га) и Джокер F_1 (16,2), сорт Ярило (16,3 ц/га) (см. табл. 5).

В основном производителей сельскохозяйственной продукции интересует урожайность полезной продукции. Урожайность зерна определяется элементами структуры продуктивности. У рапса урожайность семян складывается из числа плодов на растении, числа семян в стручке, массы 1000 семян.

Табл. 3. Полевая всхожесть и сохранность растений рапса к уборке (в среднем за 2021, 2022 гг.), %

Table 3. Field germination and preservation of plants for harvesting (on average for 2021, 2022), %

Вариант	Полевая всхожесть	Сохранность
Герос (контроль)	64,3	84,0
Кампино	65,8	95,0
Ярило	65,0	91,4
Джой F_1	65,6	70,8
Джаз F_1	66,3	70,5
Гефест F_1	69,1	70,7
Джокер F_1	75,8	69,6
Джером F_1	67,2	70,4
Джерри F_1	48,8	68,0

Табл. 4. Средняя продолжительность межфазных периодов за 2021, 2022 гг., сут

Table 4. Average duration of interphase periods for 2021, 2022, days

Вариант	Посев – всходы	Всходы – листовая розетка	Листовая розетка – цветение	Цветение и плодобразование – образование зеленого стручка	Образование зеленого стручка – полная спелость	Вегетационный период
Герос (контроль)	11	16	13	30	50	119
Кампино	11	16	13	30	50	119
Ярило	11	16	13	30	50	119
Джой F_1	13	19	16	32	47	126
Джаз F_1	13	19	16	32	47	126
Гефест F_1	13	19	16	32	47	126
Джокер F_1	13	19	16	32	47	126
Джером F_1	13	19	16	33	47	126
Джерри F_1	13	19	16	32	47	126

Табл. 5. Урожайность семян сортов и гибридов ярового рапса, ц/га

Table 5. Seed yield of spring rape varieties and hybrids, c/ha

Вариант	2021 г.	2022 г.	Среднее
Герос (контроль)	17,2	13,9	15,5
Кампино	16,3	11,4***	13,9***
Ярило	18,3***	14,2	16,3**
Джой F_1	15,0***	13,8	14,4***
Джаз F_1	16,4	14,0	15,2
Гефест F_1	16,9	14,2	15,6
Джокер F_1	18,5***	14,0	16,2**
Джером F_1	16,8	14,5	15,7
Джерри F_1	19,2***	14,2	16,7***
НСР ₀₅	0,66	0,87	0,55
НСР ₀₁	0,80	1,05	0,67
НСР ₀₀₁	1,07	1,40	0,89

* $p > 0,95$;

** $p > 0,99$;

*** $p > 0,999$.

В 2021 г. у сорта Герос (контроль) среднее число стручков на растении составило 348. Достоверное превышение стручков на растении отмечено у сорта Ярило (471), гибридов Джокер (570) и Джой (482). В 2022 г. достоверное превышение контроля по числу стручков на растении отмечено также у сорта Ярило (447) и у гибрида Джером (437).

В среднем за 2 года достоверно превзошли контроль по числу стручков гибриды Джой (450), Джокер (482) и сорт Ярило (459) (см. табл. 6).

Сорта рапса ярового обладали большим числом семян в стручке по сравнению с гибридами. В 2021 г. у сорта Герос (контроль) среднее число семян в стручке составило 25. Достоверных превышений не отмечено. В 2022 г. у контроля среднее число семян в стручке было 24. Достоверное превышение числа семян в стручке отмечено у сорта Кампино (25). В среднем за 2 года исследований по числу семян в стручке растений рапса превышений контроля не выявлено (см. табл. 7).

В результате двухлетних исследований массы 1000 семян установлено, что значительных колебаний по годам по этому признаку у сортов и гибридов рапса не выявлено. Наибольшее значение массы 1000 семян отмечено в 2021 г. у гибрида Джерри (4,8 г). Это значение достоверно превышает показатели контроля. В среднем за 2 года исследований превышений контрольного образца по массе 1000 семян у большинства вариантов не отмечено. Гибрид Джерри по этому показателю достоверно превзошел контроль (см. табл. 8).

Табл. 6. Число стручков на растении сортов и гибридов ярового рапса в 2021, 2022 гг.

Table 6. Number of pods per plant of spring rape varieties and hybrids in 2021, 2022

Вариант	2021 г.		2022 г.		Среднее за 2 года	
	Число стручков на растение	Отклонение от контроля, %	Число стручков на растение	Отклонение от контроля, %	Число стручков на растение	Отклонение от контроля, %
Герос (контроль)	348 ± 18,47	—	368 ± 22,33	—	358 ± 14,24	—
Кампино	212 ± 7,85	–39	244 ± 14,49	–33,7	228 ± 9,01	–36,3
Ярило	471 ± 30,92	35	447 ± 20,56	21,4	459 ± 18,91*	28,2
Джой F_1	482 ± 17,47	38,5	418 ± 21,60	13,6	450 ± 14,95*	25,7
Джаз F_1	337 ± 17,68	–3,2	382 ± 18,33	3,8	359 ± 15,39	0,3
Гефест F_1	349 ± 13,48	0,3	385 ± 22,75	4,6	367 ± 14,17	2,5
Джокер F_1	570 ± 37,67	64	393 ± 20,74	6,8	482 ± 25,74*	34,6
Джером F_1	363 ± 19,52	4,3	437 ± 28,50	18,7	400 ± 20,22	11,7
Джерри F_1	412 ± 16,22	18,4	387 ± 27,70	5,2	400 ± 16,93	11,7

$p > 0,95$.

Табл. 7. Число семян в стручке сортов и гибридов ярового рапса

Table 7. Number of seeds per pod of spring rape varieties and hybrids

Вариант	2021 г.		2022 г.		Среднее за 2 года	
	Число семян на растение	Отклонение от контроля, %	Число семян на растение	Отклонение от контроля, %	Число семян на растение	Отклонение от контроля, %
Герос (контроль)	25 ± 0,2	—	24 ± 0,2	—	25 ± 0,2	—
Кампино	26 ± 0,4	4	25 ± 0,3	4,2	25 ± 0,3	0
Ярило	26 ± 0,3	4	24 ± 0,3	0	25 ± 0,2	0
Джой F_1	18 ± 0,2	–28	17 ± 0,2	–29,2	18 ± 0,1	–28
Джаз F_1	23 ± 0,4	–8	22 ± 0,4	–8,4	23 ± 0,3	–8
Гефест F_1	22 ± 0,3	–12	21 ± 0,3	–12,5	22 ± 0,2	–12
Джокер F_1	20 ± 0,4	–20	19 ± 0,4	–20,8	20 ± 0,3	–20
Джером F_1	17 ± 0,5	–32	20 ± 0,4	–16,6	19 ± 0,3	–24
Джерри F_1	21 ± 0,3	–16	20 ± 0,2	–16,6	21 ± 0,2	–16

Табл. 8. Масса 1000 семян сортов и гибридов ярового рапса

Table 8. Weight of 1000 seeds of spring rape varieties and hybrids

Вариант	2021 г.		2022 г.		Среднее за 2 года	
	Масса 1000 семян, г	Отклонение от контроля, %	Масса 1000 семян, г	Отклонение от контроля, %	Масса 1000 семян, г	Отклонение от контроля, %
Герос (контроль)	4,1 ± 0,1	—	4,0 ± 0,1	—	4,0 ± 0,1	—
Кампино	3,6 ± 0,2	–12,2	3,9 ± 0,1	–2,5	3,7 ± 0,1	–7,5
Ярило	3,7 ± 0,3	–9,7	3,9 ± 0,2	–2,5	3,8 ± 0,3	–5
Джой F_1	4,0 ± 0,2	–2,4	3,8 ± 0,2	–5	3,9 ± 0,2	–2,5
Джаз F_1	3,8 ± 0,5	–7,3	3,8 ± 0,5	–5	3,8 ± 0,5	–5
Гефест F_1	4,4 ± 0,3	7,3	4,3 ± 0,4	7,5	4,4 ± 0,4	10
Джокер F_1	4,4 ± 0,5	7,3	4,2 ± 0,6	5	4,3 ± 0,6	7,5
Джером F_1	4,0 ± 0,2	–2,4	4,0 ± 0,1	0	4,0 ± 0,2	0
Джерри F_1	4,8 ± 0,3*	17	4,5 ± 0,3*	12,5	4,6 ± 0,3*	15

$p > 0,95$.

ВЫВОДЫ

1. Сорта и гибриды ярового рапса, находившиеся в эксперименте, по биологическим ритмам укладываются в вегетационный период Кировской области и относятся к группе среднеспелых. Полевая всхожесть изучаемых сортов и гибридов в среднем за годы исследования колебалась от 48,8 до 75,8%. В среднем наиболее высокая полевая всхожесть отмечена у гибридов первого поколения Джокер и Гефест (75,8 и 69,1% соответственно).

2. Сохранность растений к уборке выше, чем у контроля (84%), в среднем за 2 года отмечена у сортов Кампино и Ярило.

3. В среднем за 2 года по урожайности семян достоверно превзошли контроль (15,5 ц/га) гибриды Джерри F_1 (16,7 ц/га) и Джокер F_1 (16,2), сорт Ярило (16,3 ц/га).

4. В среднем за 2 года достоверно превзошли контроль по числу стручков (358) гибриды Джой (450), Джокер (482) и сорт Ярило (459).

5. По массе 1000 семян выделился гибрид Джерри, который в среднем за 2 года достоверно превзошел контроль на 15%. В производственных условиях рекомендовано рассмотреть к возделыванию сорт Ярило, гибриды Джерри и Джокер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кишикаткина А.Н., Прахова Т.Я., Крылов А.П., Галиуллин А.А. Оценка качества маслосемян капустных культур в условиях Средневолжского региона // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 41–43. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10409.
2. Девяткин С.А., Девяткина Т.Ф., Баторшин Р.Ф., Бочкарев Д.В. Совершенствование технологии возделывания ярового рапса на маслосемена в условиях юга Нечерноземной зоны // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4 (70). С. 19–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-19-22.
3. Степных Н.В., Нестерова Е.В., Заргарян А.М. Перспективы расширения производства масличных культур в Уральском регионе // Аграрный вестник Урала. 2021. № 5 (208). С. 89–102. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-89-102.
4. Гончаров С.В., Горлова Л.А. Селекция рапса в соответствии с ожиданиями масложирового комплекса // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (58). С. 38–45. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.38.
5. Дорохов А.С., Чилингарян Н.О. Состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2020. № 7 (198). С. 75–84. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-75-84.
6. Кислякова Е.М., Стрелков И.В. Повышение реализации продуктивного потенциала коров за счет использования в рационах природных кормовых добавок // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 135–140.
7. Рензяева Т.В., Рензяев А.О., Кравченко С.Н., Резниченко И.Ю. Потенциал рапсовых жмыхов в качестве сырья пищевого назначения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 2. С. 143–160. DOI: 10.36107/spfr.2020.213.
8. Медведев В.В., Хакимов Е.И., Фатыхов И.Ш., Вафина Э.Ф. Биохимический состав сухого вещества надземной биомассы и семян рапса // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 29–34. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-29-34.
9. Хайруллин А.М., Багаутдинов Ф.Я., Гайфуллин Р.Р. Влияние форм азотных удобрений на урожайность и биохимический состав семян рапса ярового // Пермский аграрный вестник. 2019. № 2 (26). С. 101–109.
10. Кузнецов И.Ю., Валитов А.В., Ахияров Б.Г., Абдульманов Р.И. Оценка экономической эффективности приемов возделывания однолетних кормовых культур в Среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2018. № 4 (24). С. 57–64.
11. Дедов А.В., Савенков В.П., Хрюкин Н.Н., Епифанцева А.М. Сбор семян, растительного масла и кормового белка ярового рапса в зависимости от способов и систем основной обработки почвы в севообороте в условиях лесостепи ЦФО России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 1 (64). С. 69–76. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.69.
12. Валитов А.В., Кузнецов И.Ю., Абдульманов Р.И. Поукосные посевы рапса ярового в организации зеленого конвейера // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 36–43.
13. Андреева О.Т., Филипенко Н.Г., Сидорова Л.П., Харченко Н.Ю. Рапс яровой в одновидовых и поливидовых посевах с мятликовыми культурами // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 2. С. 41–48. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-5.
14. Воловик В.Т., Шпаков А.С., Новоселов Ю.К. Масличные капустные культуры в растениеводстве Центрального экономического района // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 2. С. 33–35. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10208.
15. Фатыхов И.Ш., Вафина Э.Ф., Медведев В.В. Приемы обработки почвы в технологии возделывания ярового рапса Аккорд в условиях Среднего Предуралья: монография. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. 124 с.

REFERENCES

1. Kshnikatkina A.N., Prakhova T.Ya., Krylov A.P., Galiullin A.A. Estimation of quality of oilseeds of cabbage cultures under conditions of the Middle Volga region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 4, pp. 41–43. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10409.
2. Devyatkin S.A., Devyatkina T.F., Batorshin R.F., Bochkarev D.V. Improvement of the cultivation technology of spring oilseed rape for oilseeds in the south of the Non-blackearth (chernozem) zone. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2020, no. 4 (70), pp. 19–22. (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-19-22.
3. Stepnykh N.V., Nesterova E.V., Zargaryan A.M. Prospects for expanding the production of oilseeds in the Ural region. *Agrarnyi vestnik Urala =*

- Agrarian Bulletin of the Urals*, 2021, no. 5 (208), pp. 89–102. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-89-102.
4. Goncharov S.V., Gorlova L.A. Rape breeding in accordance with the expectations of oil and fat industry. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 2018, no. 3 (58), pp. 38–45. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.38.
 5. Dorokhov A.S., Chilingaryan N.O. Status and development prospects of the feed industry in the Russian Federation. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2020, no. 7 (198), pp. 75–84. (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2020-198-7-75-84.
 6. Kislyakova E.M., Strelkov I.V. Increase in potential productive capacity of cows due to natural fodder supplements. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2018, no. 2 (22), pp. 135–140. (In Russian).
 7. Renzyaeva T.V., Renzyaev A.O., Kravchenko S.N., Reznichenko I.Yu. Capabilities of Rape-seed Oilcake as Food Raw Materials. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and Processing of Farm Products*, 2020, no. 2, pp. 143–160. (In Russian). DOI: 10.36107/spfp.2020.213.
 8. Medvedev V.V., Khakimov E.I., Fatykhov I.Sh., Vafina E.F. Biochemical composition of dry matter of aboveground biomass and rape seeds. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 2020, vol. 15, no. 2 (58), pp. 29–34. (In Russian). DOI: 10.12737/2073-0462-2020-29-34.
 9. Khairullin A.M., Bagautdinov F.Ya., Gaifulin R.R. Influence of the nitrogen fertilizers forms on yield and biochemical composition of the spring rape seeds. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2019, no. 2 (26), pp. 101–109. (In Russian).
 10. Kuznetsov I.Yu., Valitov A.V., Akhiyarov B.G., Abdul'manov R.I. Assessment of economic efficiency of cultivation methods of annual forage crops in the Middle Preduralie. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2018, no. 4 (24), pp. 57–64. (In Russian).
 11. Dedov A.V., Savenkov V.P., Khryukin N.N., Epifantseva A.M. The effect of various methods and systems of basic soil tillage on seed yield and quality of spring rapeseed in the conditions of the forest-steppe of the Central Federal District of Russia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 2020, vol. 13, no. 1 (64), pp. 69–76. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.69.
 12. Valitov A.V., Kuznetsov I.Yu., Abdul'manov R.I. Postcut sowings of spring rape in the organization of the green forage chain. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2018, no. 2 (22), pp. 36–43. (In Russian).
 13. Andreeva O.T., Pilipenko N.G., Sidorova L.P., Kharchenko N.Yu. Spring rape in single- and multi-crop sowings with poaceous crops. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no. 2, pp. 41–48. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2019-2-5.
 14. Volovik V.T., Shpakov A.S., Novoselov Yu.K. Oil cruciferous cultures in plant production of the Central economic area. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 2, pp. 33–35. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10208.
 15. Fatykhov I.Sh., Vafina E.F., Medvedev V.V. *Soil cultivation techniques in the technology of cultivation of spring rape Akkord in the conditions of the Middle Urals*. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2021. 124 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Калабина Д.В., агроном-семеновод; e-mail: kalabinadv@doronichi.com

Лыбенко Е.С., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; e-mail: elenalybenko@rambler.ru

(✉) **Хлопов А.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; **адрес для переписки:** Россия, 610017, Кировская область, г. Киров, Октябрьский проспект, 133; e-mail: akhlopov@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Daria V. Kalabina, Agricolist-Seed Grower; e-mail: kalabinadv@doronichi.com

Elena S. Lybenko, Candidate of Science in Agriculture, Associate Professor; e-mail: elenalybenko@rambler.ru

(✉) **Andrey A. Khlopov**, Candidate of Science in Agriculture, Associate Professor; **address:** 133, Oktyabrsky ave., Kirov, Kirov Region, 610017, Russia; e-mail: akhlopov@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 04.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 26.06.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ РАСТЕНИЙ ГРУШИ

✉ Упадышев М.Т.^{1,2}

¹Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства
Москва, Россия

²Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева
Москва, Россия

✉ e-mail: upad8@mail.ru

Рассмотрен процесс получения исходных растений груши. Технологический процесс включает выделение растений определенного сорта по помологическим, физиологическим качествам и продуктивности, проверку на наличие вирусов, фитоплазм и вредителей путем тестирования методами ИФА, ПЦР и на индикаторах; в случае отсутствия здоровых растений необходимо освобождение от патогенов методами термо- и хемотерапии, культуры *in vitro*, магнитотерапии с проведением повторного тестирования. После предварительного тестирования в условиях защищенного грунта получают растения-кандидаты в исходные растения, которые тестируют с использованием комплекса методов диагностики. Свободные от основных вредоносных вирусов и фитоплазмы растения переводят в категорию «исходные растения», в случае зараженности всех тестируемых образцов их подвергают оздоровлению. Суховоздушная термотерапия в сочетании с прививкой апексов на не зараженные вирусами подвой обеспечивает возможность получения здоровых растений в течение одного вегетационного периода. Для хемотерапии наряду с эталонными препаратами (рибавирин) перспективно применение фенольных соединений (салициловая, галловая кислоты), которые позволяют увеличить эффективность оздоровления растений от вирусов в среднем на 28–30%, снизить стоимость процесса оздоровления и повысить безопасность труда. Использование магнитно-импульсной обработки повышает экологическую безопасность технологии при отсутствии фитотоксического эффекта. После диагностики комплексом методов при отсутствии вирусов растения груши получают категорию «исходное растение», и в дальнейшем их размножают окулировкой или прививкой.

Ключевые слова: груша, исходные растения, диагностика, оздоровление от вирусов, технологический процесс

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF OBTAINING INITIAL PEAR PLANTS

✉ Upadyshev M.T.^{1,2}

¹Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery
Moscow, Russia

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy
Moscow, Russia

✉ e-mail: upad8@mail.ru

The process of obtaining initial pear plants is considered. The technological process includes the selection of plants of a certain variety according to pomological, physiological qualities and productivity; diagnostics for the presence of viruses, phytoplasmas and other harmful organisms by ELISA, PCR and indicators testing; in the absence of healthy plants – release from pathogens by methods of thermotherapy, chemotherapy, *in vitro* culture, magnetotherapy with re-testing. After preliminary testing in greenhouse conditions, candidate plants for initial plants are obtained, which are then subjected to testing using a set of diagnostic methods. Plants free from the main harmful viruses and phytoplasma are transferred to the category of “initial plants”, and if all the tested plants are infected, they are subjected to recovery. Dry air thermotherapy in combination with grafting of apexes on virus-free rootstocks provides the possibility of obtaining healthy plants during one growing season. For chemotherapy, along with reference drugs (ribavirin), the use of phenolic compounds (salicylic, gallic acids) is promising, which can increase the efficiency of plant recovery from viruses by an average of 28–30%, reduce the cost of the recovery process and improve workplace safety. The use of magnetic pulse processing increases the environmental safety of the technology in the absence of the phytotoxic

effect. After diagnosis by a complex of methods in the absence of viruses, pear plants receive the category “initial plant” and are further propagated by budding or grafting.

Keywords: pear, initial plants, diagnostics, recovery from viruses, technological process

Для цитирования: Упадышев М.Т. Совершенствование технологического процесса получения исходных растений груши // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 32–39. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-4>

For citation: Upadyshev M.T. Improvement of the technological process of obtaining initial pear plants. *Sibirskii vestnik sel'skokozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 32–39. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-4>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Благодарность

Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (№ 0432-2021-0002 «Изучение особенностей биоэкологии и вредоносности опасных вредителей и болезней плодовых и ягодных культур, усовершенствование системы диагностики, разработка комплексных экологизированных систем оздоровления и защитных мероприятий для садовых агроценозов»).

Acknowledgements

The studies were carried out as part of the implementation of the state task of the FSBSI Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery (No. 0432-2021-0002 “The study of peculiarities of bioecology and harmfulness of dangerous pests and diseases of fruit and berry crops, improvement of diagnostics system, development of integrated ecologized systems of recovery and protective measures for horticultural agroecosystems”).

Подпрограмма «Развитие садоводства и питомниководства» на 2017–2030 гг.¹ определяет необходимость увеличения производства посадочного материала садовых культур (в том числе груши) высших категорий качества. В настоящее время в соответствии со ст. 10 Федерального закона № 454 «О семеноводстве» от 22.12.2021 г. установлены следующие категории посадочного материала плодовых, ягодных растений и винограда:

- 1) исходный посадочный материал (исходные растения);
- 2) базисный посадочный материал (базисные растения);
- 3) проверенный посадочный материал;
- 4) непроверенный посадочный материал.

Технологический процесс получения исходных растений груши включает следующие основные этапы:

1. Апробация растений с оценкой соответствия сорту, определением физиологических качеств, продуктивности и отсутствия регламентированных вредных организмов.

2. Проверка растений-кандидатов в исходные растения на наличие вирусов, фитоплазм методами иммуноферментного анализа (ИФА), полимеразной цепной реакции (ПЦР) и с помощью индикаторов. При отсутствии здоровых растений – освобождение растений-кандидатов от патогенов и проведение повторного тестирования.

3. Содержание исходных растений в защищенном грунте при проведении регулярного ретестирования².

В соответствии с ГОСТ Р 59653–2021³ в посадочном материале груши должны отсутствовать следующие вредные организмы: вирусы хлоротической пятнистости листьев яблони, мозаики яблони, бороздчатости, ямчатости и размягчения (гуттаперчевости) древесины яблони; растения, пораженные фитоплазмой истощения груши, – карантинный объект. Не регламентированы ГОСТ Р 59653–2021, но также должны отсутствовать вирусоподобные болезни: растрескивание и некроз коры, раннее опробковение

¹Подпрограмма «Развитие садоводства и питомниководства» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 гг. (дополнительно включена в состав программы 29.05.2022 г. постановлением Правительства Российской Федерации от 13.05.2022 г. № 872).

²Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур: метод. указания. М., 2013. 92 с.

³ГОСТ Р 59653–2021. Материал посадочный плодовых и ягодных культур. Технические условия. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 50 с.

ние коры и вириод пузырчатого рака коры груши. Не допускается заражение растений вредителями и болезнями, передающимися с посадочным материалом: корневой рак (*Agrobacterium tumefaciens* Conn.), млечный блеск (*Ghondrostereum purpureum* Fr.), обыкновенный рак коры (*Nectria galligena* Bres.), фитофтороз, или гниль корневой шейки (*Phytophthora cactorum*), бактериальный ожог плодовых (*Erwinia amylovora* Winsl.) – карантинный объект, калифорнийская щитовка (*Quadraspidiotus perniciosus* Comst.) – карантинный объект, обыкновенная грушевая медяница (*Psylla pyri* L.), малая грушевая медяница (*Cacopsylla pyricola* Foerster), большая грушевая медяница (*Cacopsylla pyrisuga* Foerster) – переносчики фитоплазмы истощения груши.

Отбор кандидатов в исходные растения производят специалисты-вирусологи совместно со специалистами-помологами (апробаторами) согласно установленным методикам^{4, 5}. После оценки растений на соответствие сортовым признакам, определения продуктивности и физиологических качеств выделяют от пяти до десяти деревьев груши с типичными сортовыми признаками и высокой продуктивностью, которые в оптимальные сроки (июнь) тестируют методом ИФА на наличие основных вредоносных вирусов, методом ПЦР – на зараженность фитоплазмой истощения груши.

Со свободных от вирусов деревьев отбирают черенки или почки и прививают их на здоровые подвои для получения растений в количестве не менее 10 шт. одного сорта (не менее 2 шт. от каждого дерева). Подвои предварительно выращивают в контейнерах объемом 2–3 л с торфопесчаным субстратом (соотношение по объему торфа и песка 3 : 1), обогащенным минеральными удобрениями (содержание $N_{\text{общ}}$ – не менее 150 мг/л, P_2O_5 – не менее 150, K_2O – не менее 250 мг/л) и нейтрализованным по кислотности (рН 5,5–6,5). Семенные подвои всех видов груши считаются свободными от основных вредоносных

вирусов. Допускаются также получение корнесобственных растений или прививка на не зараженные вирусами клоновые подвои груши.

Кандидаты в исходные растения переносят в карантин, которым могут служить непроницаемые для вредных организмов вегетационная (необогреваемая) теплица либо изолированный бокс зимней теплицы.

После этого кандидаты в исходные растения подвергают основному тестированию, которое осуществляется с использованием нескольких методов и охватывает все вирусные и вирусоподобные болезни, регламентированные для проверенного посадочного материала (см. таблицу).

При наличии диагностических наборов для ИФА ко всем сокопереносимым вирусам тест на травянистых индикаторах можно не проводить. Поскольку большинство форм древесных индикаторов имеют низкую зимостойкость, в южных регионах Российской Федерации можно использовать полевой тест, а в более суровых условиях следует применять тест на древесных индикаторах в условиях теплицы.

Полевой и тепличный тесты на древесных индикаторах проводят, прививая на однолетние растения-индикаторы от четырех до шести глазков либо щитков коры исследуемого образца в 3- или 5-кратной повторности (в соответствии с таблицей), для контроля оставляют два-три неинокулированных растения-индикатора.

Растениям, которые по результатам тестирования оказались свободными от вирусов и других регламентированных патогенов, присваивают категорию «исходное растение». В случае выявления патогенов растения отбраковывают или подвергают оздоровлению (когда зараженными оказываются все тестируемые растения определенного сорта).

В зависимости от вида патогена схемы оздоровления растений груши могут быть различными и требуют совершенствования. Для повышения эффективности оздоровле-

⁴Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. 606 с.

⁵Помология / отв. ред. Е.Н. Седов. Орел, 2007. Т. 2: Груша. Айва. 436 с.

Методы выявления и идентификации вирусов и вирусоподобных агентов на груше
Virus detection and identification methods and virus-like agents on pear

Вирусы и вирусоподобные болезни	ИФА	ПЦР	Тепличный тест на травянистых индикаторах	Тепличный тест на древесных индикаторах	Полевой тест на древесных индикаторах
Вирус хлоротической пятнистости листьев яблони	+	+	<i>C. quinoa</i> , повторность 5-кратная, продолжительность теста – 20 дней	<i>Pyrus communis</i> Nouveau Poiteau, повторность 3-кратная, 1 год	<i>Cydonia oblonga</i> C 7/1, <i>P. communis</i> Beurre Hardy, повторность 3-кратная, 2 года
Вирус борозчатости древесины яблони	+	+	<i>C. quinoa</i> , повторность 5-кратная, 20 дней	<i>M. sylvestris</i> Virginia crab, повторность 3-кратная, 1 год	<i>M. sylvestris</i> Virginia crab, повторность 3-кратная, 2 года
Вирус ямчатости древесины яблони	+	+	<i>C. quinoa</i> , повторность 5-кратная, 20 дней	<i>M. sylvestris</i> Virginia crab, <i>Pyronia veitchii</i> , <i>P. communis</i> Nouveau Poiteau, Beurre Bosc, повторность 3-кратная, 1 год	<i>M. sylvestris</i> Virginia crab, <i>Pyronia veitchii</i> , <i>P. communis</i> A20, <i>P. communis</i> Jules d'Airolles, Beurre Bosc, Durondeau, повторность 3-кратная, 2 года
Вирус мозаики яблони	+	+	<i>C. quinoa</i> , повторность 5-кратная, 20 дней	<i>M. domestica</i> Lord Lambourne, повторность 5-кратная, <i>M. sylvestris</i> Virginia crab, повторность 3-кратная, 1 год	<i>M. domestica</i> Lord Lambourne, повторность 5-кратная, <i>M. sylvestris</i> Virginia crab, повторность 3-кратная, 2 года
Вирусы размягчения (гуттаперчевости) древесины яблони	–	+	–	<i>C. oblonga</i> C 7/1, <i>M. domestica</i> Lord Lambourne, повторность 5-кратная, 1 год	<i>C. oblonga</i> C 7/1, <i>M. domestica</i> Lord Lambourne, повторность 5-кратная, 3 года
Фитоплазма истощения груши	–	+	–	<i>P. communis</i> Doyenne du Comice, повторность 3-кратная, 1 год	<i>P. communis</i> Doyenne du Comice, повторность 3-кратная, 2 года
Растрескивание коры груши, раннее опробковение коры, некроз коры груши	–	–	–	<i>P. communis</i> Beurre Hardy, <i>P. communis</i> Williams, повторность 3-кратная, 1 год	<i>P. communis</i> Beurre Hardy, <i>P. communis</i> Williams, повторность 3-кратная, 2 года
Вироид пузырчатого рака коры груши	–	+	–	<i>P. communis</i> A20, повторность 3-кратная, 1 год	<i>P. communis</i> A20, повторность 3-кратная, 2 года

ния следует использовать комплекс различных по механизму действия методов, что особенно актуально в отношении вирусов, характеризующихся высокой термотолерантностью. В качестве эффективных технологий оздоровления целесообразно применять термотерапию, культуру меристем, хемотерапию либо магнитотерапию *in vitro*^{6, 7} [1, 2].

Основным методом освобождения растений груши от фитопатогенных вирусов является суховоздушная термотерапия⁸, к преимуществам которой относится возможность получения свободных от вирусов растений в течение одного вегетационного периода (см. сноску 6) [3, 4].

Термотерапия вегетирующих растений в контейнерной культуре проводится в специ-

⁶Приходько Ю.Н., Магомедов У.Ш. Вирусы семечковых и косточковых плодовых культур: монография. Воронеж, 2011. 468 с.

⁷Panattoni A., Luvizi A., Triolo E. Elimination of viruses in plants: twenty years of progress // Spanish Journal of Agricultural Research. 2013. Vol. 11 (1). P. 173–188.

⁸Certification scheme fruit plants. Explanatory guide to top fruit Cydonia, Malus, Prunus, Pyrus Mother trees Pre-basic, Basic 1, Basic 2 and Certified categories. March 2021. 10 p. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/985184/certification-scheme-top-fruit-mother-trees.pdf.

альных термокамерах различной конструкции, позволяющих создать следующие параметры обработки: температура в камере – 38 ± 1 °C, влажность – 40–70%, освещенность – не менее 3000 лк/м², продолжительность освещения – 16 ч в сутки, длительность обработки – от 4 до 12 недель. Механизм действия термотерапии связан с замедленной репликацией вирусов в тканях верхушечной части растений, нарушением их транспортных функций, усилением деградации вирусных частиц, инаktivацией вирусных ферментов и ингибированием синтеза нуклеиновых кислот (см. сноску 7) [5–7].

Перед помещением в термокамеру растения содержат от 6 мес до 1 года в контейнерах объемом 3–4 л, затем после зимнего покоя (февраль – апрель) пересаживают в 5-литровые контейнеры и через 2–3 недели переносят в термокамеру. Для оздоровления используют от трех до пяти растений каждого сорта.

Продолжительность термотерапии определяется видом вируса. Для уничтожения термоллабильных патогенов (вирусов мозаики яблони, гуттаперчевости, фитоплазмы истощения груши) применяют термотерапию длительностью 4–5 недель. При наличии термотолерантных вирусов (хлоротической пятнистости листьев яблони, бороздчатости и ямчатости древесины яблони) термообработку увеличивают до 8–12 недель или повторяют на следующий год (см. сноску 6) [8, 9].

В процессе термотерапии регулярно осуществляют корневые подкормки растворимыми минеральными удобрениями и обработки препаратами от вредителей и болезней. Подкормку проводят удобрением Растворин (Кристаллин) марки Б (азот, фосфор, калий в соотношении 18 : 6 : 18) через каждые 10 дней. Обработку от вредителей проводят на основании регулярных осмотров (1 раз в неделю) и с учетом порога вредоносности различными препаратами (например, Фитоверм, КЭ, Вертимек, КЭ, Битоксибациллин, ТАБ и др.) в рекомендованных производителями нормах расхода.

После термотерапии апексы величиной 1–2 см прививают врасщеп на семенные подвои (свободные от вирусов клоновые подвои) или изолируют меристемы с высадкой на питательную среду. Хороших результатов достигали на средах Мурасиге–Скуга, Ли и де Фоссарда, Кворина–Лепуавра⁹. В качестве регуляторов роста на этапе введения используют 6-БАП (концентрация 0,25–0,50 мг/л) или CPPU (0,10–0,20 мг/л) в сочетании с ИУК (0,05 мг/л). На этапе размножения применяют 6-БАП (1,0–2,0 мг/л) или тидиазурон (0,2–0,5 мг/л), или CPPU (0,2–0,4 мг/л) в сочетании с ИУК (0,1 мг/л). Для укоренения полученных микропобегов используют разбавленную 2-кратно минеральную основу среды Мурасиге–Скуга с добавлением ИМК в концентрации 0,5–1,0 мг/л.

Полученные растения проверяют на наличие вирусов с помощью комплекса методов (ИФА, ПЦР, индикаторы).

К преимуществам метода хемотерапии *in vitro* относят отсутствие необходимости применения термотерапии, возможность введения в культуру крупных эксплантов (более 1 мм), сокращение времени оздоровления, высокий выход свободных от вредоносных вирусов растений [1].

Наиболее часто применяемым при хемотерапии препаратом является рибавирин (виразол, 1-в-Д-рибофуранозил-1, 3, 5-триазол-3-карбоксамид) в концентрации 40–80 мг/л. Более высокие концентрации рибавирина приводят к сильной фитотоксичности и гибели эксплантов [10, 11]. Рибавирин добавляют в состав питательной среды на этапе пролиферации на фоне стандартных концентраций цитокининов. В наших экспериментах рибавирин в концентрации 40 мг/л в сочетании с термотерапией *in vitro* обеспечивал оздоровление от вирусов ACLSV и ArMV 71% эксплантов подвоя груши сорта Загорьевский [1].

По сравнению с рибавирином более безопасными в токсикологическом плане препаратами являются салициловая и галловая кислоты, которые в концентрациях

⁹Бьядовский И.А., Упадышев М.Т. Клональное микроразмножение плодовых культур: метод. рекомендации. М., 2020. 69 с.

$1,5 \times 10^{-4}$ М обеспечивали полное оздоровление эксплантов груши сорта Лада от вирусов [1]. Салициловая кислота в концентрации 42 мг/л способствовала выходу 50–100% свободных от латентных вирусов эксплантов подвоя груши. Указанные препараты позволяют повысить эффективность оздоровления растений от вирусов в среднем на 28–30%, снизить стоимость процесса оздоровления и обезопасить труд оператора. С учетом оптимальных концентраций фенольных соединений их использование обходится примерно в 25 раз дешевле, чем 2-тиоурацила.

Для повышения выхода здоровых растений груши и в случае низкой укореняемости микропобегов определенного сорта практикуют микропрививку, при которой верхушки оздоравливаемых растений величиной 1–3 мм прививают *in vitro* на свободные от вирусов подвой, характеризующиеся высокой способностью к ризогенезу. Прививку осуществляют на этапе укоренения микропобегов. После образования корней и срастания компонентов растения адаптируют к нестерильным условиям. Разновидностью данного метода считается прививка полученных *in vitro* верхушек на свободные от вирусов подвой, культивируемые в условиях теплицы [12].

Как альтернативу хемотерапии можно применять магнитно-импульсную обработку (МИО), использование которой исключает ингибирование ростовых процессов и повышает экологическую безопасность. Магнитотерапию эксплантов груши проводят прибором АМИС-8 (конструкция Федерального научного селекционно-технологического центра садоводства и питомниководства) или его аналогом с последовательно нарастающей и снижающейся частотой импульсов в интервале 1–100 Гц. Например, применение МИО с непрерывным нарастанием частоты импульсов в диапазоне 50–100 Гц обеспечивало на подвое груши наибольший выход свободных от комплекса вирусов эксплантов (75%), что сопровождалось увеличением числа и длины побегов на 23 и 36% по сравнению с контролем (без обработки), на 60 и 150% – относительно эталона (рибавирин) [13].

После использования методов культуры *in vitro* получаемые здоровые растения следует рассматривать как кандидаты в исходные растения и в обязательном порядке подвергать комплексному тестированию (как минимум через 3–6 мес после адаптации). При отсутствии вирусов растения груши получают категорию «исходное растение», после чего размножаются окулировкой или прививкой.

Применение хемо- и магнитотерапии *in vitro* в предложенных модификациях позволяет снизить себестоимость исходных растений груши в 1,8 раза по сравнению с термотерапией *ex situ* [1].

Выход свободных от вирусов растений груши при использовании различных методов оздоровления в среднем составляет от 53 до 83% в зависимости от сорта и вида вируса. Предлагаемый технологический процесс получения исходных растений груши может быть реализован в условиях лабораторий научных и коммерческих учреждений, занимающихся производством посадочного материала высших категорий качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологический процесс получения исходных растений груши включает следующие основные этапы: выделение растений определенного сорта по помологическим признакам с оценкой на соответствие сорту, определением продуктивности, физиологических качеств; проверка на наличие вирусов, фитоплазм и других вредных организмов путем тестирования методами ИФА, ПЦР и на индикаторах; в случае отсутствия здоровых растений необходимо освобождение от патогенов методами термо- и хемотерапии, культуры *in vitro*, магнитотерапии с проведением повторного тестирования и проверки на соответствие сортотипу. После предварительного тестирования в условиях защищенного грунта получают растения-кандидаты в исходные растения, которые затем подвергают тестированию с использованием комплекса методов диагностики. Свободные от основных вредоносных вирусов и фитоплазмы растения переводят в категорию «исходные расте-

ния». В случае зараженности всех тестируемых растений их подвергают оздоровлению. Сухо-воздушная термотерапия в сочетании с прививкой верхушек на свободные от вирусов подвой обеспечивает возможность получения здоровых растений в течение одного вегетационного периода. Для хемотерапии перспективно применение фенольных соединений (салициловая, галловая кислоты). Магнитно-импульсная обработка повышает экологическую безопасность технологии при отсутствии фитотоксического эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Упадышев М.Т., Куликов И.М., Петрова А.Д., Метлицкая К.В., Донецких В.И. Современные методы оздоровления плодовых и ягодных культур от вредоносных вирусов: монография. М.; Саратов, 2019. 168 с.
2. Карпушина М.В., Супрун И.И. Методы и подходы к элиминации вирусов в условиях *in vitro* и *in vivo* // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 63 (3). С. 254–269. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-3-63-254-269.
3. Дадю К.Я., Чернец А.М., Калашян Ю.А., Проданюк Л.Н. Внедрение системы сертификации посадочного материала садовых культур в Республике Молдова // Садоводство и виноградарство. 2018. № 2. С. 58–60. DOI: 10.25556/VSTISP.2018.2.12309.
4. Зиза Р. Итальянская система сертификации. Добровольная генетическая и фитосанитарная сертификация плодовых культур // Садоводство и виноградарство. 2018. № 2. С. 49–53. DOI: 10.25556/VSTISP.2018.2.12307.
5. Hu G., Dong Y., Zhang Z., Fan X., Ren F., Li Z. Efficacy of virus elimination from apple by thermotherapy coupled with *in vivo* shoot-tip grafting and *in vitro* meristem culture // Phytopathologische Zeitschrift. 2017. Vol. 165. N 10. P. 701–706. DOI: 10.1111/jph.12610.
6. Баматов И.М. Современные методы оздоровления растений // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2018. № 53 (5). С. 67–79. DOI: 10.30679/2219-5335-2018-5-53-67-79.
7. Vivek M., Modgil M. Elimination of viruses through thermotherapy and meristem culture in apple cultivar ‘Oregon Spur-II’ // Virus Disease. 2018. Vol. 29 (1). P. 75–82. DOI: 10.1007/s13337-018-0437-5.

8. Lizarraga A., Ascasiibar J., Gonzalez M.L. Fast and effective thermotherapy treatment for *in vitro* virus elimination in apple and pear trees // American Journal of Plant Sciences. 2017. Vol. 8 (10). P. 2474–2482. DOI: 10.4236/ajps.2017.810168.
9. Li X.L., Li M.J., Zhou J., Wei Q.P., Zhang J.K. Anzucht von virusfreien Bäumen durch Wärmebehandlung und Faktoren, die den Erfolg der Virusfreimachung beeinflussen // Erwerbs-Obstbau. 2020. Vol. 62. S. 257–264. DOI: 10.1007/s10341-020-00480-3.
10. Romadanova N., Tolegen A., Koken T., Nurmanov M., Kushnarenko S. Chemotherapy of apple shoots *in vitro* as method of viruses eradication // International Journal of Biology and Chemistry. 2021. Vol. 14 (1). P. 48–55. DOI: 10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04.
11. Karimpour S., Davarynejad G., Agl M., Safarnejad Reza. *In vitro* thermotherapy and thermo-chemotherapy approaches to eliminate some viruses in *Pyrus communis* L. cv. ‘Natanz’ // Journal of Agricultural Science and Technology. 2020. Vol. 22. P. 1645–1653.
12. Высоцкий В.А. Усовершенствование метода микропрививок для размножения трудноукореняемых форм плодовых растений // Плодоводство и ягодоводство России. 2017. Т. 50. С. 93–96.
13. Донецких В.И., Упадышев М.Т., Петрова А.Д., Метлицкая К.В., Селиванов В.Г. Применение препарата АМИС-8 при получении оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых культур // Техника и оборудование для села. 2017. № 1 (235). С. 16–22.

REFERENCES

1. Upadyshev M.T., Kulikov I.M., Petrova A.D., Metlitskaya K.V., Donetskikh V.I. *Modern methods of healing fruit and small fruit crops from harmful viruses*. Moscow; Saratov, 2019, 168 p. (In Russian).
2. Karpushina M.V., Suprun I.I. Methods and approaches to virus elimination under *in vitro* and *in vivo* conditions. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii = Fruit Growing and Viticulture of South Russia*, 2020, no. 63 (3), pp. 254–269. (In Russian). DOI: 10.30679/2219-5335-2020-3-63-254-269.
3. Dadu K.Ya., Chernets A.M., Kalashyan Yu.A., Prodanyuk L.N. Introduction of certification-system for fruit planting material in the Repub-

- lic of Moldova. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and viticulture*, 2018, no. 2, pp. 58–60. (In Russian). DOI: 10.25556/VS-TISP.2018.2.12309.
4. Ziza R. Italian certification system. Voluntary genetic and phytosanitary certification of fruit crops. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and viticulture*, 2018, no. 2, pp. 49–53. (In Russian). DOI: 10.25556/VS-TISP.2018.2.12307.
 5. Hu G., Dong Y., Zhang Z., Fan X., Ren F., Li Z. Efficacy of virus elimination from apple by thermotherapy coupled with *in vivo* shoot-tip grafting and *in vitro* meristem culture. *Phytopathologische Zeitschrift*, 2017, vol. 165, no. 10, pp. 701–706. DOI: 10.1111/jph.12610.
 6. Bamatov I.M. Modern methods of plant health improvement. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii = Fruit Growing and Viticulture of South Russia*, 2018, no. 53 (5), pp. 67–79. (In Russian). DOI: 10.30679/2219-5335-2018-5-53-67-79.
 7. Vivek M., Modgil M. Elimination of viruses through thermotherapy and meristem culture in apple cultivar ‘Oregon Spur-II’. *Virus Disease*, 2018, vol. 29 (1), pp. 75–82. DOI: 10.1007/s13337-018-0437-5.
 8. Lizarraga A., Ascasibar J., Gonzalez M.L. Fast and effective thermotherapy treatment for *in vitro* virus elimination in apple and pear trees. *American Journal of Plant Sciences*, 2017, vol. 8 (10), pp. 2474–2482. DOI: 10.4236/ajps.2017.810168.
 9. Li X.L., Li M.J., Zhou J., Wei Q.P., Zhang J.K. Anzucht von virusfreien Bäumen durch Wärmebehandlung und Faktoren, die den Erfolg der Virusfreimachung beeinflussen. *Erwerbs-Obstbau*, 2020, vol. 62, ss. 257–264. DOI: 10.1007/s10341-020-00480-3.
 10. Romadanova N., Tolegen A., Koken T., Nurmanov M., Kushnarenko S. Chemotherapy of apple shoots *in vitro* as method of viruses eradication. *International Journal of Biology and Chemistry*, 2021, vol. 14 (1), pp. 48–55. DOI: 10.26577/ijbch.2021.v14.i1.04.
 11. Karimpour S., Davarynejad G., Aghl M., Safarnejad Reza. *In vitro* thermotherapy and thermo-chemotherapy approaches to eliminate some viruses in *Pyrus communis* L. cv. ‘Natanz’. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, vol. 22, pp. 1645–1653.
 12. Vysotsky V.A. Improving of micrografting technique for propagation of difficult to root forms of fruit-trees. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rassii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 2017, vol. 50, pp. 93–96. (In Russian).
 13. Donetskikh V.I., Upadyshev M.T., Petrova A.D., Metlitskaya K.V., Selivanov V.G. Application of AMIS-8 preparatus to combat viruses when preparing planting stock of fruit crops. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2017, no. 1 (235), pp. 16–22. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Упадышев М.Т.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, член-корреспондент РАН; **адрес для переписки:** Россия, 115598, Москва, ул. Загорьевская, 4; e-mail: upad8@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Mikhail T. Upadyshev**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; **address:** 4, Zagoryevskaya St., Moscow, 115598, Russia; e-mail: upad8@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 21.06.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 21.07.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

✉ Шаратов И.И., Шаратова Ю.А., Абдряев М.Р.

Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук

Самарская область, г. Кинель, Россия

✉ e-mail: scharapov86@mail.ru

Представлены результаты трехлетних исследований (2020–2022), проводившихся в лесостепной зоне Самарской области в агроценозе озимой пшеницы. Целью работы было изучение влияния природно-климатических условий района исследований на формирование показателей урожайности, содержание белка в зерне озимой пшеницы. Материалом служили десять сортов из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) и пять сортов селекции Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова. Были определены урожайность, содержание белка в зерне и выход белка с гектара. Выявлены сорта, отличающиеся высокой урожайностью и большим количеством белка в зерне, показывающие максимальный выход белка в различные по метеоусловиям годы. Во время исследования самым благоприятным для формирования высокой урожайности оказался 2022 г. (в указанный год было собрано от 6,0 до 8,5 т/га), когда наблюдалось выпадение значительного объема осадков в мае – I декаде июня. Показатель содержания белка в зерне был максимален в 2021 г. (14–19%), когда в период налива зерна наблюдались высокие температуры воздуха на фоне отсутствия осадков. Для каждого сорта установлена корреляционная зависимость суммы активных температур и количества осадков в период весенне-летней вегетации с исследуемыми показателями. Отмечена отрицательная корреляция между суммой активных температур и урожайностью (от –0,553 до –0,981) и положительная зависимость с показателем «содержание белка» (от 0,605 до 0,984) в зависимости от сорта. Количество осадков находилось в положительной корреляционной зависимости с показателем урожайности, зависимость с содержанием белка в зерне была неоднозначна и зависела от сорта. На изучаемые показатели оказывали влияние не только природно-климатические условия, но и генотипические особенности изучаемых сортов, что и объясняет разноплановую корреляционную зависимость.

Ключевые слова: белок, урожайность, озимая пшеница, метеоусловия, вегетация

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON YIELD AND PROTEIN CONTENT IN WINTER WHEAT GRAIN

✉ Sharapov I.I., Sharapova Yu.A., Abdryaev M.R.

Povolzhsky Scientific Research Institute of Selection and Seed Growing named after P.N. Konstantinov – Branch of Samara Federal Research Scientific Center RAS

Kinzel, Samara region, Russia

✉ e-mail: scharapov86@mail.ru

The results of three-year studies (2020–2022) conducted in the forest-steppe zone of the Samara region in the agroecosystem of winter wheat are presented. The purpose of the work was to study the influence of natural and climatic conditions of the research area on the formation of yield indicators, protein content in winter wheat grain. The material was 10 varieties from the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) collection and 5 varieties of selection of the Povolzhsky Scientific Research Institute of Selection and Seed Growing named after P.N. Konstantinov. Yield, grain protein content and protein yield per hectare were determined. Varieties characterized by high yield and high amount of protein in grain, showing maximum protein yield in different weather conditions of the years were identified. Over the years of research, the year 2022 was the most favorable for the formation of high yields (between 6 and 8.5 t/ha were harvested in the indicated year), where a large amount of

precipitation was observed in May – the first ten-day period of June. The protein content in grain was the highest in 2021 (14–19%), when high temperatures were observed during the grain filling period in the absence of precipitation. For each variety, the correlation dependence of the sum of active temperatures and the amount of precipitation during the spring-summer vegetation period with the studied indicators was established. There was a negative correlation between the sum of active temperatures and yield (from –0.553 to –0.981) and a positive correlation with the protein content indicator (from 0.605 to 0.984) depending on the variety. The amount of precipitation was in a positive correlation with the yield index, the dependence on the protein content in the grain was ambiguous and depended on the variety. The studied indicators were influenced not only by natural and climatic conditions, but also by the genotypic features of the studied varieties, which explains the diverse correlation dependence.

Keywords: protein, yield, winter wheat, weather conditions, vegetation

Для цитирования: Шарапов И.И., Шарапова Ю.А., Абдюев М.Р. Влияние метеоусловий на урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 40–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-5>

For citation: Sharapov I.I., Sharapova Yu.A., Abdryaev M.R. Influence of weather conditions on yield and protein content in winter wheat grain. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 40–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-5>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница – основная продовольственная и кормовая культура в Самарской области. Площадь посева озимой пшеницы в регионе составляет в среднем 500 тыс. га ежегодно и постепенно увеличивается. Озимая пшеница является страховой культурой, дающей высокие урожаи даже в засушливые годы, поэтому интерес к ней стабильно высок [1]. Указанное свойство пшеницы особенно важно, так как в Самарской области не редки засухи в период налива зерна [2].

В условиях меняющегося климата определяющим инновационным компонентом интенсивной технологии производства зерна пшеницы выступают адаптированные к местным природно-климатическим условиям сорта [3]. Как отмечают I. Elahi et al. [4], изменение климата сильнее всего сказывается в районах возделывания пшеницы на богаре.

Белок и клейковина считаются основными показателями качества зерна пшеницы [5]. Об уровне развития зернового производства в стране свидетельствует качество произведенного зерна [6]. Известно, что содержание белка находится в отрицательной корреляционной зависимости с урожайностью. При производстве зерна важно получить не толь-

ко высокие урожаи, но и качественную продукцию [7]. К значимым факторам, способным оказать влияние на урожайность и качество зерна, относятся среда обитания, агротехника возделывания, сорт [8]. Условия получения высококачественного зерна зависят от факторов внешней среды (температуры воздуха и осадков). Важным фактором, обеспечивающим высокую урожайность озимой пшеницы, является температура в период цветения – налива зерна (конец мая – июнь) [9]. Уменьшение количества доступной влаги ведет, с одной стороны, к снижению урожайности, с другой – к повышению качества зерна (увеличению содержания белка) [10].

Цель исследования – изучить влияние метеорологических условий на урожайность и содержание белка в зерне пшеницы сортов из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) и селекции Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова (Поволжский НИИСС).

Задачи исследования:

1) определить влияние суммы активных температур и количества осадков на урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы;

2) выделить адаптивные сорта, показывающие высокую урожайность и высокое содержание белка в зерне в различные по метеоусловиям годы;

3) провести корреляционный анализ влияния суммы активных температур и суммы осадков в весенне-летний период вегетации на разных сортах озимой пшеницы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2020–2022 гг. на селекционно-семеноводческих полях Поволжского НИИСС (лаборатория селекции и семеноводства озимой пшеницы) в условиях экологического сортоиспытания. Были использованы три сорта местной селекции (Поволжская нива, Поволжская 30, Поволжское золото), две перспективные линии (Эритроспермум 4287, Лютесценс 3868), а также десять сортов из коллекции ВИР: Скипетр (стандарт), Бирюза, Базис, Бонус, Виктория 95, Капитан, Кипчак, Цефей, Юнона, Shestopalivka. Анализ содержания белка в зерне осуществляли в лаборатории инновационных технологий на инфракрасном анализаторе «ИнфралЮМ ФТ» по методике М 04-37-2009 (2014 г.) согласно ГОСТ Р 8.563–2009.

Площадь опытных делянок 15 м², расположение вариантов опыта рендомизированное, повторность четырехкратная. Предшественник – черный пар. Норма высева 4,5 млн всхожих семян/га. Агротехника общепринятая для озимой пшеницы. Уборку проводили комбайном Сампо-2010.

Метеоусловия весенне-летнего периода вегетации в годы исследований имели существенные различия, что сказалось на реализации сортового потенциала по продуктивности и содержанию белка (см. табл. 1).

В 2020–2022 гг. на территории Самарской области возобновление вегетации озимой пшеницы пришлось на III декаду апреля. Перед посевом в 2019 г. сложились благоприятные погодные условия, когда за летние месяцы выпало 99,7 мм осадков. В результате были получены полноценные всходы. Невысокие температуры сентября (5,8–14,3 °С) и осадки способствовали хорошему развитию и закалке растений. За зиму выпало 54,9 мм осадков на фоне высоких среднемесячных температур января и февраля (–2,8 и –3,8 °С соответственно). Условия перезимовки были мягкими и не оказали существенного влияния на растения. Март оказался прохладным

Табл. 1. Гидротермические показатели за 2020–2022 гг.

Table 1. Hydrothermal indicators for 2020–2022

Месяц	Декада	Сумма активных температур				Количество осадков, мм				ГТК			
		Среднемесячное значение	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднемесячное значение	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднемесячное значение	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Апрель	III	63,0	65,1	12,2	104,2	11,1	13,9	18,2	12,6	1,76	–	–	1,21
Май	I	135,0	170,1	162,9	60,1	8,7	2,8	2,8	22,5	0,64	0,16	0,17	–
	II	189,0	115,3	232,7	72,2	11,6	12,0	0,1	41,4	0,61	1,04	0,01	5,73
	III	176,0	190,8	230,8	103,0	13,5	2,8	17,9	19,6	0,77	0,15	0,78	1,90
	За месяц	500,0	476,2	626,4	235,3	33,8	17,6	20,8	83,5	0,68	0,37	0,33	3,55
Июнь	I	178,0	183,9	190,4	179,3	15,5	45,2	34,5	42,6	0,87	2,45	1,81	2,37
	II	199,0	181,1	218,3	193,5	16,6	0,3	34,1	7,4	0,83	0,02	1,56	0,38
	III	207,0	168,7	278,2	196,6	22,5	2,8	3,7	3,9	1,09	0,17	0,13	0,20
	За месяц	584,0	533,7	686,9	569,4	54,6	48,3	72,3	53,9	0,93	0,91	1,05	0,95
Июль	I	210,0	248,1	213,8	205,8	22,2	0,9	6,4	3,9	1,06	0,04	0,30	0,19
	II	216,0	256,0	247,8	239,7	15,9	4,8	6,3	5,4	0,74	0,19	0,25	0,23
	III	216,0	256,0	247,8	239,7	15,9	4,8	6,3	5,4	0,74	0,19	0,25	0,23
	За месяц	426,0	504,1	461,6	445,5	38,1	5,7	12,7	9,3	0,89	0,11	0,28	0,21
Всего за период весенне-летней вегетации		1573,0	1579,0	1786,5	1354,4	137,6	85,5	124,0	159,3	0,87	0,54	0,69	1,18

(2,2 °С), таяние снега шло постепенно. В апреле I и II декады были теплыми, в отдельные дни температура доходила до 5,5 °С.

В апреле – мае 2020 г. наблюдали незначительное угнетение растений, снижение нормы осадков на 30,0% по сравнению со среднемноголетними показателями. Сумма активных температур находилась на уровне среднемноголетней величины. В I декаде июня выпало большое количество осадков (45,2 мм), что совпало с периодом массового налива зерна. Во II и III декадах июня, I и II декадах июля отмечен дефицит осадков (15,0% от среднемноголетнего значения) на фоне высоких температур. Весенне-летний период вегетации 2020 г. являлся засушливым, гидротермический коэффициент (ГТК) в указанный период составил 0,54 (по Г.Т. Селянинову).

В 2020 г. перед посевом озимой пшеницы сложились благоприятные погодные условия. В июне – августе выпало 112,9 мм осадков, были получены полноценные всходы. Осадки в сентябре и октябре на фоне невысоких температур способствовали хорошему развитию и закалке пшеницы. В ноябре выпало незначительное количество снега. За декабрь, январь и февраль выпало 147,2 мм осадков, высота снежного покрова составила 55 см, что позволило надежно защитить озимую пшеницу от низких температур. Средняя температура в зимние месяцы колебалась от –10,4 до –13,9 °С. Март был прохладным, таяние снега шло постепенно.

Период весенней вегетации 2021 г. характеризовался как острозасушливый. Сумма активных температур мая превышала среднемноголетнее значение на 25,0% при низком количестве осадков (на 38,0% ниже нормы). У растений озимой пшеницы наблюдали угнетение и отставание в росте. В III декаде мая, I и II декадах июня выпало значительное количество осадков, что совпало с периодом активного налива зерна. Сумма активных температур в летние месяцы вегетации превышала среднемноголетнюю величину на 13,7% при дефиците осадков в июле. Условия 2021 г. были сложными для роста и развития озимой пшеницы. ГТК за весенние и летние

месяцы составил 0,69, т.е. данный период можно характеризовать как засушливый.

В 2021 г. перед посевом озимой пшеницы сложились неблагоприятные погодные условия. Незначительные осадки в июле (17,7 мм) и практически полное их отсутствие в августе (0,6 мм) на фоне высоких температур иссушили почву, всходы были изреженными. Ситуацию исправили осадки I декады сентября (31,0 мм). Отмечалось выравнивание посевов. Октябрь и ноябрь оказались теплыми, что позволило растениям дополнительно кустироваться. В декабре высота снежного покрова достигала 15 см. Температура января и февраля доходила до –23 °С, высота снежного покрова составляла 58 см. Март был прохладным, таяние снега проходило постепенно.

Весенне-летний период вегетации озимой пшеницы 2022 г. отличался от предыдущих годов исследования большим количеством осадков на фоне снижения суммы активных температур в апреле – июне. В мае и I декаде июня зафиксировано выпадение значительного объема осадков – выше среднемноголетних показателей на 147,0 и 175,0% соответственно. Сложились оптимальные условия для роста и развития озимой пшеницы, что дало возможность исследуемым сортам максимально реализовать свой генетический потенциал по урожайности. В I и II декадах июля наблюдали повышение температур на фоне низкого количества осадков. Величина ГТК за 2022 г. составила 1,18 (слабозасушливые условия).

В осенний период 2020–2022 гг. условия для роста и развития растений складывались по-разному, были получены полноценные всходы, перезимовка которых проходила в мягких зимних условиях, не оказавших существенного влияния на растения.

Годы исследований характеризовались контрастными условиями произрастания по сумме активных температур и сумме осадков в весенне-летний период вегетации озимой пшеницы. Острозасушливые периоды наблюдались в 2020 и 2021 гг., слабозасушливые – в 2022 г. ГТК колебался от 0,54 (2020 г.) до 1,18 (2022 г.). Выпадение основного объема осадков зафиксировано в начале июня,

что совпадало с периодом налива зерна и позволило получить высокую урожайность.

Изучали взаимосвязь гидротермических показателей с урожайностью, содержанием белка и выходом белка на единицу площади. Математическую обработку проводили по Б.А. Доспехову* методами корреляционного и дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Озимая пшеница является урожайной культурой, способной формировать высококачественное зерно даже в засушливых условиях. В наших исследованиях урожайность и содержание белка существенно варьировали по годам (см. табл. 2).

В 2020 г. у изучаемых сортообразцов урожайность составляла от 3,2 (Бирюза) до 5,7 т/га (Бонус), содержание белка – от 9,1 (Скипетр) до 13,8% (Shestopalivka), выход белка – от 0,36 (Скипетр) до 0,69 т/га (Бонус).

В 2021 г. минимальная урожайность отмечена у сортов Базис и Кипчак (4,3 т/га), максимальная – у линии Эритроспермум 4287 (6,2 т/га). Содержание белка в зерне пшеницы варьировало: минимальный показатель составил 14,2% (Скипетр), максимальный – 18,9% (Юнона). Минимальный выход белка зафиксирован у сорта Скипетр (0,69 т/га), максимальный – у линии Эритроспермум 4287 (1,0 т/га).

В 2022 г. наблюдали самую высокую урожайность озимой пшеницы за исследуемый период. Минимальная урожайность отмечена у сорта Поволжская нива, относимого к степному экотипу (6,1 т/га), максимальная – у сорта Кипчак и линии Эритроспермум 4287 (8,5 т/га). При этом зафиксировано низкое содержание белка в зерне – от 11,0 (Цефей) до 14,8% (Поволжская нива). По выходу белка выделилась линия Эритроспермум 4287 (1,1 т/га), минимум отмечен у сортов Юнона, Цефей и Поволжская 30 (0,81 т/га).

В среднем за три года исследований по урожайности выделились сорт Бонус и линия Эритроспермум 4287 (6,3 т/га), минималь-

ный показатель – у сорта Поволжская нива (4,9 т/га). Максимальным содержанием белка характеризовался сорт Виктория 95 (15,0%), минимальным – сорт Скипетр (11,9%). По выходу белка выделилась линия Эритроспермум 4287 (0,86 т/га), минимальный выход зафиксирован у сорта Скипетр (0,64 т/га). Стоит отметить, что сорта, отличающиеся высокой урожайностью, имели низкое содержание белка, и наоборот, чем ниже урожайность, тем выше было содержание белка [11].

Тесную корреляционную зависимость наблюдали между метеоусловиями и урожайностью, содержанием и выходом белка (см. табл. 3). Отрицательная корреляция отмечена между суммой активных температур и урожайностью, она колебалась от средней (–0,553) до высокой (–0,981). Зависимость содержания белка в зерне от суммы активных температур носила положительный характер и колебалась от слабой (0,065) до сильной (0,984).

В условиях, оптимальных для роста и развития озимой пшеницы, питательные вещества преобразуются в крахмал в зерновке, что приводит к снижению количества белка [12]. При высоких температурах происходит снижение биосинтеза крахмала в зерновке [13, 14]. Усиление процесса дыхания и увеличение расхода углеводов приводят к повышению количества белка в зерне [12].

Зависимость показателя «выход белка» от суммы активных температур была разносторонней, зависела от сорта и колебалась от слабо положительной (0,151 у сорта Цефей) до сильно отрицательной (–0,725 у сорта Бонус).

Урожайность изучаемых сортов находилась в тесной положительной корреляционной зависимости от количества осадков. Аналогичный результат получен в исследованиях A. Wegrzyn et al. [15] в Польше на посевах озимой пшеницы. Корреляционная зависимость колебалась от 0,656 (средняя) до 0,997 (сильная). Количество осадков оказывало разностороннее влияние на содержание белка: у изучаемых сортов отмечалась как слабо отрицательная (–0,338 у сорта

*Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Табл. 2. Генотипические особенности формирования урожайности и качества зерна озимой пшеницы
Table 2. Genotypic features of the formation of yield and quality of winter wheat grain

Сорт, патентообладатель	2020 г.			2021 г.			2022 г.			Среднее по годам		
	Урожай- ность, т/га	Содержа- ние бел- ка, %	Выход белка, т/га	Урожай- ность, т/га	Содержа- ние бел- ка, %	Выход белка, т/га	Урожай- ность, т/га	Содержа- ние бел- ка, %	Выход белка, т/га	Урожай- ность, т/га	Содержа- ние бел- ка, %	Выход белка, т/га
Скипер (стандарт), А.Г. Поletaев, Г.М. Поletaев	3,97	9,1	0,36	4,89	14,2	0,69	7,23	11,4	0,82	5,36	11,9	0,64
Бирюза, Самарский НИИССХ	3,19	11,6	0,37	4,67	16,8	0,78	7,31	12,6	0,92	5,06	13,7	0,69
Базис, Самарский НИИССХ	4,44	13,1	0,58	4,22	18,1	0,76	8,01	11,9	0,95	5,55	14,1	0,78
Юнона, НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5,33	12,1	0,64	4,45	18,9	0,84	7,31	11,1	0,81	5,70	14,0	0,80
Капитан, АНЦ «Донской»	4,44	12,9	0,57	4,67	17,1	0,80	8,11	11,7	0,95	5,74	13,9	0,80
Бонус, АНЦ «Донской»	5,71	12,1	0,69	4,89	16,0	0,78	8,33	12,4	1,03	6,31	13,5	0,85
Виктория 95, НИИССХ Юго-Востока	4,89	13,7	0,67	5,11	17,7	0,90	6,70	13,5	0,90	5,57	15,0	0,84
Цефей, ЭкоНива – Семена	4,67	12,6	0,59	4,67	18,4	0,86	7,39	11,0	0,81	5,58	14,0	0,78
Shestopalivka, Украина	4,00	13,8	0,55	4,67	16,4	0,77	8,31	12,3	1,02	5,66	14,2	0,80
Кипчак, АНЦ «Донской»	4,89	12,0	0,59	4,22	17,0	0,72	8,52	11,2	0,96	5,88	13,4	0,79
Поволжская нива, Поволжский НИИСС	4,12	12,0	0,49	4,42	15,8	0,70	6,11	14,8	0,91	4,88	14,2	0,69
Поволжская 30, Поволжский НИИСС	4,51	11,4	0,51	4,30	16,6	0,71	6,29	12,9	0,81	5,03	13,6	0,68
Поволжское золото, Поволжский НИИСС	4,42	10,5	0,46	4,60	15,3	0,70	8,11	12,2	0,99	5,71	12,7	0,73
Эритроспермум 4287, Поволжский НИИСС	4,23	11,8	0,50	6,22	16,2	1,01	8,51	13,2	1,12	6,32	13,7	0,86
Лютесценс 3868, Поволжский НИИСС	4,04	10,2	0,41	4,31	16,0	0,69	7,19	12,0	0,86	5,18	12,7	0,66
НСР _{0,05}	0,21	0,6	0,11	0,23	0,7	0,1	0,31	0,16	0,37	0,24	0,43	0,14

Табл. 3. Корреляционная зависимость метеоусловий и показателей «урожайность», «содержание белка», «выход белка» (2020–2022 гг.)

Table 3. Correlation of weather conditions with yield, protein content and protein yield (2020–2022)

Сорт	Сумма активных температур			Количество осадков		
	Урожайность	Содержание белка	Выход белка	Урожайность	Содержание белка	Выход белка
Скипетр (стандарт)	–0,710	0,605	–0,185	0,964	0,389	0,944
Бирюза	–0,649	0,746	–0,267	0,982	0,205	0,968
Базис	–0,900	0,933	–0,533	0,825	–0,154	0,999
Юнона	–0,981	0,909	0,116	0,656	–0,092	0,803
Капитан	–0,849	0,944	–0,412	0,881	–0,187	0,995
Бонус	–0,963	0,816	–0,725	0,712	0,094	0,958
Виктория 95	–0,818	0,876	–0,022	0,906	–0,017	0,878
Цефей	–0,877	0,943	0,151	0,853	–0,181	0,781
Shestopalivka	–0,798	0,984	–0,551	0,919	–0,338	0,998
Кипчак	–0,937	0,913	–0,657	0,770	–0,102	0,981
Поволжская нива	–0,802	0,065	–0,601	0,917	0,833	0,992
Поволжская 30	–0,917	0,675	–0,349	0,802	0,304	0,986
Поволжское золото	–0,823	0,532	–0,634	0,877	0,468	0,986
Эритроспермум 4287	–0,553	0,532	–0,634	0,997	0,335	0,950
Лютесценс 3868	–0,864	0,656	–0,464	0,867	0,327	0,999

Shestopalivka), так и сильно положительная корреляционная зависимость (0,833 у сорта Поволжская нива). Высокую положительную корреляционную зависимость наблюдали у показателей «выход белка» и «количество осадков» – 0,781 и 0,999 соответственно.

Прослеживается четкая корреляционная зависимость по большинству исследуемых показателей и метеоусловиям. Стоит отметить, что на коэффициент корреляции оказывают влияние сортовые особенности озимой пшеницы. Температура воздуха и выпадающие осадки имеют сильную разнонаправленную корреляционную зависимость с показателями урожайности и количеством белка. При этом данная зависимость может существенно различаться по сортам [16].

Таким образом, метеоусловия годов исследования оказали влияние на показатели урожайности, количество белка в зерне и выход белка с гектара. Следует также отметить, что значительную роль здесь играют генетические особенности сорта. Изучаемые сорта по-разному реагировали на показатели суммы активных температур и суммы осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сумма активных температур и сумма осадков за изучаемый период оказали существенное влияние на урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы. Наиболее благоприятным по урожайности был 2022 г., по содержанию белка – 2021 г.

В ходе исследования по урожайности выделились сорт Бонус (АНЦ «Донской») и линия Эритроспермум 4287 (Поволжский НИИСС), сформировавшие по 6,3 т/га. Наибольшее содержание белка отмечено у сорта Виктория 95 (Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока) – 15,0%.

Урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы находились в тесной корреляционной зависимости от суммы активных температур и суммы осадков. Величина коэффициента корреляции варьировала по сортам.

На изучаемые показатели влияют не только метеорологические условия года, но и генотипические особенности изучаемых сортов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов И.И., Шарапова Ю.А. Влияние конопля сорной на элементы продуктивности и поврежденность зерна пшеничным трипсом и хлебными клопами в агроценозе озимой мягкой пшеницы // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 50–54. DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp50-54.
2. Маслова Г.Я., Шарапов И.И., Шарапова Ю.А. Урожайность и элементы структуры урожая сортов озимой пшеницы конкурсного сортоиспытания в различные по метеоусловиям годы в условиях Самарской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2021. № 2 (62). С. 240–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-25.
3. Sukhareva E.P., Belikina A.V. Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties under dry conditions of Volgograd region of Russia // Research on Crops. 2022. N 2 (23). P. 282–287. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.039.
4. Elahi I., Saeed U., Wadood A., Abbas A., Nawaz H., Jabbar S. Effect of climate change on wheat Productivity // IntechOpen. 2022. April. P. 1–14. DOI: 10.5772/intechopen.103780.
5. Kulikova A., Yashin E., Karpov A., Volkova E. The comparative efficiency of organic, mine-ral and organo-mineral fertilizers for the winter wheat grain yield in the forest steppe of the Volga region // BIO Web of Conferences. 2021. January. P. 1–5. DOI: 10.1051/bioconf/20213700094.
6. Vershinina T.S., Larkova N.N., Eliseev S.L. Technological qualities of gran of winter crops depending on the sowing time and weather conditions // Bioscience Biotechnology Research Communications. 2020. N 13 (4). P. 2262–2265. DOI: 10.21786/bbrc/13.4/95.
7. Gawęda D., Haliniarz M. Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system // Agriculture. 2021. N 11 (2). P. 1–16. DOI: 10.3390/agriculture11.020133.
8. Woźniak A. Effect of Crop Rotation and Cereal Monoculture on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain and on Crop Infestation with Weeds and Soil Properties // International Journal of Plant Production. 2019. N 13. P. 177–182. DOI: 10.1007/s42106-019-00044-w.
9. Czibolya L., Makra L., Pinke Z., Horváth J., Csépe Z. Dependence of the crop yields of maize, wheat, barley and rye on temperature and precipitation in Hungary // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2020. N 15 (3). P. 359–368. DOI: 10.26471/cjees/2020/015/136.
10. Wan C., Dang P., Wang J., Tao J., Qin X., Feng B., Gao J. How does the environment affect wheat yield and protein content response to drought? A Meta-analysis // Frontiers in plant science. 2022. Vol. 13. P. 1–10. DOI: 10.3389/fpls.2022.896985.
11. Амелин А.В., Мазалов В.И., Заикин В.В., Чекалин Е.И., Икусов Р.А. Потенциальные возможности новых сортов озимого тритикале в формировании высокого и качественного урожая зерна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (59). С. 37–45. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.37.
12. Дёмина И.Ф. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 4 (23). С. 433–440. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440.
13. Poudel P., Poudel M. Heat stress effects and tolerance in wheat // Journal of Biology and Today's World. 2020. N 3 (9). P. 1–6. DOI: 10.35248/2322-3308.20.09.217.
14. Куменбекова А.К., Мухомедьярова А.С. Продуктивность сортов яровой пшеницы в зависимости от климатических условий сухостепной зоны Западного Казахстана // Наука и образование. 2022. № 1–2 (66). С. 33–40. DOI: 10.52578/2305-93-97-2022-1-2-33-40.
15. Węgrzyn A., Klimek-Kopyra A., Dacewicz E., Skowera B., Grygierzec W., Kulig B., Flis-Olszewska E. Effect of selected meteorological factor on the growth rate and seed yield of winter – a case study // Agronomy. 2022. N 12 (12). P. 1–16. DOI: 10.3390/agronomy12122924.
16. Дорохов Б.А., Брашлова И.С., Беляева Е.П. Особенности формирования урожая и качества зерна озимой пшеницы в Центральном Черноземье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. № 3 (52). С. 24–34. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-3-3.

REFERENCES

1. Sharapov I.I., Sharapova Yu.A. Influence of weed hemp on the elements of productivity and grain damage by wheat thrips and bread bugs in the agrocenosis of winter soft wheat. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2021, no. 9, pp. 50–54. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp50-54.
2. Maslova G.Ya., Sharapov I.I., Sharapova Yu.A. Yield and yield structure elements of winter wheat varieties of competitive variety testing in different weather conditions in the Samara region. *Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa = Izvestia of the Lower Volga Agro-Uni-*

- versity Complex, 2021, no. 2 (62), pp. 240–246. (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-25.
3. Sukhareva E.P., Belikina A.V. Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties under dry conditions of Volgograd region of Russia. *Research on Crops*, 2022, no. 2 (23), pp. 282–287. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.039.
 4. Elahi I., Saeed U., Wadood A., Abbas A., Nawaz H., Jabbar S. Effect of climate change on wheat Productivity. *IntechOpen*, 2022, April, pp. 1–14. DOI: 10.5772/intechopen.103780.
 5. Kulikova A., Yashin E., Karpov A., Volkova E. The comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizers for the winter wheat grain yield in the forest steppe of the Volga region. *BIO Web of Conferences*, 2021, January, pp. 1–5. DOI: 10.1051/bioconf/20213700094.
 6. Vershinina T.S., Larkova N.N., Eliseev S.L. Technological qualities of grain of winter crops depending on the sowing time and weather conditions. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 2020, no. 13 (4), pp. 2262–2265. DOI: 10.21786/bbrc/13.4/95.
 7. Gawęda D., Haliniarz M. Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system. *Agriculture*, 2021, no. 11 (2), pp. 1–16. DOI: 10.3390/agriculture11.020133.
 8. Woźniak A. Effect of Crop Rotation and Cereal Monoculture on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain and on Crop Infestation with Weeds and Soil Properties. *International Journal of Plant Production*, 2019, no. 13, pp. 177–182. DOI: 10.1007/s42106-019-00044-w.
 9. Czibolya L., Makra L., Pinke Z., Horváth J., Csépe Z. Dependence of the crop yields of maize, wheat, barley and rye on temperature and precipitation in Hungary. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2020, no. 15 (3), pp. 359–368. DOI: 10.26471/cjees/2020/015/136.
 10. Wan C., Dang P., Wang J., Tao J., Qin X., Feng B., Gao J. How does the environment affect wheat yield and protein content response to drought? A Meta-analysis. *Frontiers in plant science*, 2022, vol. 13, pp. 1–10. DOI: 10.3389/fpls.2022.896985.
 11. Amelin A.V., Mazalov V.I., Zaikin V.V., Chekalin E.I., Ikusov R.A. New varieties of winter triticale and their potential in the formation of high yields and quality grain production. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 2018, no. 4 (59), pp. 37–45. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.37.
 12. Demina I.F. Influence of weather conditions on the yield and quality of spring wheat grain in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2022, no. 4 (23), pp. 433–440. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440.
 13. Poudel P., Poudel M. Heat stress effects and tolerance in wheat. *Journal of Biology and Today's World*, 2020, no. 3 (9), pp. 1–6. DOI: 10.35248/2322-3308.20.09.217.
 14. Kumenbekova A.K., Mukhomedyarova A.S. Productivity of spring wheat varieties depending on climatic conditions of the dry steppe zone of Western Kazakhstan. *Nauka i obrazovanie = Science and education*, 2022, no. 1–2 (66), pp. 33–40. (In Russian). DOI: 10.52578/2305-93-97-2022-1-2-33-40.
 15. Węgrzyn A., Klimek-Kopyra A., Dacewicz E., Skowera B., Grygierzec W., Kulig B., Flis-Olszewska E. Effect of selected meteorological factor on the growth rate and seed yield of winter – a case study. *Agronomy*, 2022, no. 12 (12), pp. 1–16. DOI: 10.3390/agronomy12122924.
 16. Dorokhov B.A., Brailova I.S., Belyaeva E.P. Specifics of yield formation and grain quality of winter wheat in the Central Chernozem Region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, no. 3 (52), pp. 24–34. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2022-3-3.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Шарапов И.И.**, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 446442, Самарская область, г. Кинель, ул. Шоссейная, 76; e-mail: scharapov86@mail.ru

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

Абдраев М.Р., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ivan I. Sharapov**, Candidate of Science in Agriculture, Junior Researcher; **address:** 76, Shosseynaya St., Kinel, Samara Region, 446442, Russia; e-mail: scharapov86@mail.ru

Yulia A. Sharapova, Candidate of Science in Agriculture, Junior Researcher

Myansur R. Abdryaev, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 23.03.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 27.06.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-6>

УДК: 633.367:632.438

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

К ВОПРОСУ О ВЫЖИВАЕМОСТИ ГРИБА *COLLETOTRICHUM LUPINI* VAR. *LUPINI*, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ ВОЗБУДИТЕЛЕМ АНТРАКНОЗА ЛЮПИНА, В УСЛОВИЯХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Пимохова Л.И., Яговенко Г.Л., Царапнева Ж.В., Хараборкина Н.И., (✉) Мисникова Н.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса

Брянская область, п. Мичуринский, Россия

(✉) e-mail: lupin_nv misnikova@mail.ru

Представлены результаты изучения жизнеспособности гриба *Colletotrichum lupini* var. *lupini*, являющегося возбудителем опасного заболевания люпина – антракноза. Цель исследования – определить жизнеспособность гриба при разных сроках и условиях хранения семян и растительных остатков люпина в климатических условиях Брянской области. Работу проводили в 2018–2021 гг. Объект исследования – семена, проростки и растительные остатки люпина белого сорта Мичуринский и люпина узколистного сорта Витязь, хранившиеся в различных условиях в течение четырех лет. Зараженность семян антракнозом перед закладкой на хранение и после определяли методом бумажных рулонов. Идентификацию гриба осуществляли по типу конидий с использованием светового микроскопа. Жизнеспособность гриба на растительных остатках (створки бобов, стебли) определяли методом выделения в чистые культуры на питательную среду. Установлено, что основным источником инфекции антракноза служат зараженные семена. В условиях зернохранилища с естественным режимом температуры и влажности за первый год хранения инфицированность семян люпина белого антракнозом снизилась с 8,1 до 4,0%, узколистного – с 4,8 до 1,7%. Через три года хранения количество семян с жизнеспособной инфекцией гриба составило 1,1 и 0,4% соответственно. Следовательно, семена люпина прошлых лет представляют меньшую опасность в качестве источника инфекции. На зараженных растительных остатках в комнатных условиях и под крышей зернохранилища жизнеспособность гриба начиная с первого года хранения уменьшилась. К весне 2021 г. она составила 12,0 и 19,0% соответственно. Жизнеспособность гриба на незапаханных растительных остатках снижалась быстрее. Весной 2020 г. она составила 2,0%, к осени – полностью нивелировалась. В почве разложение остатков растений происходит быстрее, чем на поверхности, и после перезимовки находящийся на них гриб полностью теряет жизнеспособность и не может являться источником инфекции.

Ключевые слова: люпин, антракноз, источник инфекции, семена, растительные остатки, условия хранения

TO THE QUESTION OF SURVIVAL OF THE FUNGI *COLLETOTRICHUM LUPINI* VAR. *LUPINI* – THE LUPIN ANTHRACNOSE PATHOGEN – IN THE CONDITIONS OF THE BRYANSK REGION

Pimokhova L.I., Yagovenko G.L., Tsarapneva Zh.V., Kharaborkina N.I., (✉) Misnikova N.V.

The All-Russian Research Institute of Lupin – Branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology

Michurinsky, Bryansk region, Russia

(✉) e-mail: lupin_nv misnikova@mail.ru

The results of studying the viability of the fungus *Colletotrichum lupini* var. *lupini*, which is the causative agent of a dangerous disease of lupine – anthracnose, are presented. The purpose of the study was to determine the viability of the fungus under different terms and conditions of storage of lupin seeds and plant residues in climatic conditions of the Bryansk region. The work was done in 2018–2021.

The object of research were the seeds, seedlings and plant residues of the Michurinsky variety white lupine and the Vityaz variety narrow-leaved lupine stored under different conditions for four years. Seed anthracnose infestation before and after storage was determined by paper roll method. The fungus was identified by conidia type using a light microscope. The viability of the fungus on plant residues (bean leaflets, stems) was determined by isolation into pure cultures on nutrient medium. It was found that infected seeds were the main source of anthracnose infection. In the conditions of a granary with a natural regime of temperature and humidity for the first year of storage the infection of white lupine seeds with anthracnose decreased from 8.1 to 4.0%, and narrow-leaved lupine – from 4.8 to 1.7%. After three years of storage, the number of the seeds with viable infection of the fungus was 1.1 and 0.4%, respectively. Consequently, lupin seeds from previous years pose less risk as a source of infection. The viability of the fungus decreased on the infected crop residues under room conditions and under the roof of the granary from the first year of storage. By spring 2021, it was 12.0 and 19.0%, respectively. The viability of the fungus decreased faster on unplowed crop residues. It was 2.0% in the spring of 2020 and leveled off completely by the fall. Decomposition of plant residues in the soil is faster than on the surface, and after overwintering, the fungus on them completely loses its viability and cannot be the source of infection.

Keywords: lupin, anthracnose, infection source, seeds, plant residues, storage conditions

Для цитирования: Пимохова Л.И., Яговенко Г.Л., Царапнева Ж.В., Хараборкина Н.И., Мисникова Н.В. К вопросу о выживаемости гриба *Colletotrichum lupini* var. *lupini*, являющегося возбудителем антракноза люпина, в условиях Брянской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 49–59. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-6>

For citation: Pimokhova L.I., Yagovenko G.L., Tsarapneva Zh.V., Kharaborkina N.I., Misnikova N.V. To the question of survival of the fungi *Colletotrichum lupini* var. *lupini* – the lupin anthracnose pathogen – in the conditions of the Bryansk region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 49–59. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-6>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования Программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук (№ FGGW-2022-0006, пункт 152).

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the budgetary funding of the Basic Scientific Research Program of the Russian Academy of Sciences (no. FGGW-2022-0006, para. 152).

ВВЕДЕНИЕ

Люпин используется в сельском хозяйстве не только как концентрированный белковый корм для животных, но и как культура, обладающая способностью повышать плодородие почвы и обогащать ее азотом. В настоящее время в Российской Федерации культивируют два однолетних вида люпина: белый (*Lupinus albus* L.) и узколистый (*Lupinus angustifolius* L.). Посевные площади данных видов небольшие. Например, в 2021 г. они составили 150 тыс. га, из них 80,0% занимает люпин белый. Одним из основных факторов, препятствующих расширению посевных площадей и лимитирующих продуктивность люпи-

на, является грибковое заболевание – антракноз. Потери урожая семян от этой болезни могут достигать 30,0–90,0% [1]. Немецкими исследователями установлено, что в России данное заболевание на люпине вызывается несовершенным грибом *Colletotrichum lupini* var. *lupini*¹.

Повышение температуры и влагообеспеченности в летний период влечет за собой изменения микроклимата в посевах. В связи с этим стали появляться предпосылки для усиления развития многих заболеваний на различных культурах. По мере повышения температуры количество возбудителей болезней, изначально характерных для южных регионов, увеличивается, что приводит

¹Nirenberg H.I., Feiler U. Description of *Colletotrichum lupini* comb. nov. in modern terms // Hagedorn GM Mycologia. 2002. Vol. 94. N 2. P. 307–320.

к расширению ареала теплолюбивых видов грибов [2–4].

На территории Брянской области с 1976 по 2016 г. произошло повышение среднегодовой температуры воздуха на 2,1 °С. Например, в 1987 г. данный показатель зафиксирован на отметке 3,4 °С, в 2016 г. – 7,4 °С, при этом среднегодовое значение составило 6,2 °С. Начиная с 1996 г. отмечается устойчивый рост среднегодовой температуры воздуха [5].

В условиях изменения климата и расширения международной торговли посадочным и семенным материалом происходит распространение патогенной микрофлоры на большие расстояния² [6, 7]. Отечественными селекционерами в начале 80-х годов прошлого столетия из стран Южной Америки с семенами люпина был завезен антракноз, являющийся в указанном регионе одним из заболеваний, наносящих существенный вред культуре люпина³ [8].

При благоприятных для развития патогена погодных условиях (температура воздуха 18–25 °С, влажность воздуха 75,0–90,0%) и отсутствии устойчивых сортов люпина возникли идеальные предпосылки для эпифитотий. На территории России размножение и распространение заболевания в период вегетации происходит при помощи конидиального спороношения (см. сноску 3) [9, 10]. В полевых условиях на поверхности пораженных органов растений период жизнеспособности конидий непродолжителен: они нередко погибают при сухой погоде, длительном воздействии солнечного света, а также других биотических и абиотических факторов⁴.

Многими исследованиями установлено, что основным источником первичной инфекции антракноза на люпине в полевых условиях являются семена. Порог их зара-

женности составляет не более 0,001–0,01%, превышение которого может привести к существенным потерям урожая⁵ [10, 11]. Однако в литературе нет единого мнения о жизнеспособности гриба после перезимовки на растительных остатках люпина. Одни ученые утверждают, что в растительных остатках под открытым небом грибок не перезимовывает, в почве не сохраняется [10]. Другие авторы указывают, что кроме семян дополнительным источником инфекции антракноза выступают остатки пораженных растений люпина [11]. На многолетнем люпине грибок перезимовывает с трудом, и самостоятельных вспышек заболевания пока не наблюдалось. В связи с тем, что многолетний люпин может быть источником инфекции, его посевы не должны находиться вблизи полей, где возделываются однолетние кормовые люпины (см. сноску 3) [11].

Для эффективной защиты посевов люпина от антракноза в условиях изменения климата необходимо иметь полное представление об источниках его возникновения.

Цель исследования – изучить жизнеспособность гриба *Colletotrichum lupini* var. *lupini* при разных сроках и условиях хранения семян и растительных остатков люпина в климатических условиях Брянской области.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2018–2021 гг. в северо-восточной части Брянской области на базе лаборатории фитопатологии Всероссийского научно-исследовательского института люпина – филиала Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса. Объектом исследования являлись имеющие признаки антракноза семена, проростки и растительные остатки люпина белого сорта Мичуринский и люпина

²Magan N., Medina A., Aldred D. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre- and postharvest // Plant Pathology. 2011. Vol. 45. N 4. P. 451–458.

³Корнейчук Н.С. Грибные болезни люпинов: монография. Киев, 2010. 374 с.

⁴Кунгурцева О.В. Биологические особенности возбудителя антракноза люпина: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб.: Пушкин, 2006. 19 с.

⁵Руцкая В.И., Миняйло В.А., Миняйло А.К. Разработка системы защиты люпина от антракноза в зависимости от биологических особенностей патогена // Новые сорта люпина, технология их выращивания и переработки, адаптация в системе земледелия и животноводства: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 30-летию со дня основания Всероссийского научно-исследовательского института люпина. Брянск, 2017. С. 226–236.

узколистного сорта Витязь. Образцы семян для определения инфицированности грибом *C. lupini* var. *lupini* отбирали после их сушки и сортировки в зернохранилищах. Для каждого режима хранения отбирали по три образца семян массой 5 кг, которые помещали в мешочки. Перед закладкой семян на хранение в каждом образце определяли зараженность антракнозом. При определении наружной инфекции стерилизацию семян не проводили, для определения внутренней инфекции семена погружали на 2 мин в 96%-й спирт. Семена проращивали в бумажно-полиэтиленовых рулонах при оптимальной для развития патогена температуре (22–24 °С) в течение 7 сут^{6, 7}. Выборка – 300 семян (шесть рулонов по 50 семян). Идентификацию возбудителя болезни осуществляли по типу конидий с помощью светового микроскопа [9, 11]. Средний процент заражения семян определяли по количеству пораженных проростков среди выращенных в бумажных рулонах.

Затем семена люпина хранили в комнатных условиях и в типовом складском помещении. Фитопатологический анализ семян проводили несколько раз – через 12 (в октябре 2018 г.), 24 (в октябре 2019 г.), 36 (в октябре 2020 г.) и 46 мес (в августе 2021 г.).

Изучение перезимовки конидий и мицелия гриба проводили на стеблях и створках бобов люпина, пораженных антракнозом. Данные части растений были собраны в фазу полной спелости. Створки бобов и части стеблей размером от 10 до 15 см помещали в капроновые сеточки и в сентябре одни из них закапывали в серую лесную легкосуглинистую почву на опытном поле лаборатории (глубина вспашки 22 см, культивации – 16 см, посева семян – 3 см), другие оставляли в комнатных условиях, на открытом воздухе под крышей зернохранилища и на поверхности почвы. В каждом образце было 50 створок бобов и

50 стеблей в четырех повторениях. Части растений для лабораторного изучения отбирали 2 раза в год – в мае и сентябре. Выделение и изучение патогена с остатков хранившихся частей растений проводили в соответствии с принятыми в микологии и фитопатологии методами^{8, 9}.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ семян, собранных из бобов, пораженных грибом *C. lupini* var. *lupini*, показал, что состояние семени зависит от местоположения относительно внедрения патогена. Семя, расположенное непосредственно в зоне внедрения, является нежизнеспособным. Его поверхность покрыта грибницей. Такие семена щуплые или сгнившие, при сортировке на машинах отделяются и не попадают в посевной материал. Семена, находящиеся рядом, жизнеспособны, имеют заметные признаки поражения семенной оболочки в виде темно- или светло-коричневых пятен разной формы и размера или вообще не имеют явных признаков поражения и внешне не отличаются от здоровых семян (см. рис. 1). Такие семена служат носителями инфекции.

Требовалось установить период жизнеспособности гриба *C. lupini* var. *lupini* в зараженных семенах люпина белого и узколистного с учетом продолжительности и условий хранения. В литературе есть сведения, что возбудитель антракноза теряет жизнеспособность в семенах люпина желтого примерно через 32 мес, узколистного – через 18 мес¹⁰.

Погодные условия в годы проведения исследований были различными. В декабре и январе 2018 г. наиболее низкая температура воздуха составила –10,8...–15,8 °С. Самым холодным оказался февраль – температура воздуха в течение 8 сут находилась в пределах –11,1...–19,9 °С. Высота снежного покрова составляла 50 см. Почва промерзла на глуби-

⁶ГОСТ 12044–93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. М.: Издательство стандартов, 2011. 55 с.

⁷Гаджиева Г.И., Гутковская Н.С. Методические указания по определению зараженности семян люпина антракнозом. Минск, 2013. 20 с.

⁸Хохлаков М.К. Методические указания по экспериментальному изучению фитопатогенных грибов. Л., 1974. 69 с.

⁹Кирай З., Клемент З., Шоймоши Ф., Вереш Й. Методы фитопатологии. М.: Колос, 1974. 342 с.

¹⁰Lindebeck K., Moore K., Richards M., O'Connor G. GRDC Update Papers: The Watch outs for pulse diseases in 2017. URL: <https://grdc.com.au/Research-and-Development/GRDC-UpdatePapers/2017/02/The-watch-outs-for-pulse-diseases-in-2017>.



Рис. 1. Проявления заражения антракнозом:

а – бобы люпина белого сорта Мичуринский, пораженные грибом *C. lupini* var. *lupini*; *б* – семена с видимыми признаками поражения этим грибом; *в* – семена без видимых признаков поражения

Fig. 1. Manifestations of anthracnose infestation:

а – Michurinsky variety white lupine beans affected by the fungus *C. lupini* var. *lupini*; *б* – the seeds with visible signs of infection by this fungus; *в* – the seeds with no visible signs of infestation

ну 110 см. Относительная влажность воздуха варьировала от 67,0 до 90,0%. В июне, июле и августе максимальная температура воздуха составила 31 °С, минимальная – 5,5 °С. Относительная влажность воздуха находилась в пределах от 58,0 до 79,0%. Осадков в летний период выпало 188 мм (39,7% от общего количества за год).

В 2019 г. наибольшее снижение температуры воздуха (до –11,5...–17,1 °С) отмечалось в январе в течение 7 сут. Высота снежного покрова достигала 41 см. Относительная влажность воздуха в декабре, январе и феврале находилась в пределах от 83,0 до 92,0%. Глубина промерзания почвы составила 80 см. В период вегетации растений июнь оказался самым теплым и засушливым. Температура воздуха поднималась до отметки 31 °С. Относительная влажность воздуха составляла 59,0%.

В 2020 г. наиболее холодным был декабрь. Температура воздуха находилась в пределах –12...–20 °С. Относительная влажность воздуха составила 89,0%. Высота снежного покрова достигала 20 см, почва промерзла на глубину 70 см. В период вегетации самым теплым (10,3...31 °С) и дождливым (141 мм осадков) был июнь. Влажность воздуха составляла 69,0%.

В 2021 г. наибольшее снижение температуры воздуха (–11,8...–20,1 °С) отмечалось в феврале. Данный период продолжался 19 сут.

Высота снежного покрова достигала 48 см. Относительная влажность воздуха составляла 82,0%. Среднесуточная температура в декабре и январе зафиксирована на отметке –4,5 и –5 °С соответственно. Глубина промерзания почвы составила 50 см. В летний период самым теплым (11...32 °С) был август. Относительная влажность воздуха составляла 55,0%. Во время снеготаяния на опытных участках стояния воды не отмечено.

В условиях зернохранилища через год зараженность семян люпина белого сорта Мичуринский была выше, чем при хранении в комнатных условиях. По сравнению с исходным количеством (8,1%) доля инфекции сократилась в среднем до 4,0%, в комнатных условиях – до 3,1% (см. табл. 1).

После двух лет хранения зараженность составила 2,5 и 1,1%. В зернохранилище через четыре года зараженность достоверно ($HSP_{05} = 0,75$) снизилась до 0,4%, в комнатных условиях семена люпина белого были свободны от инфекции.

Исходная инфицированность семян люпина узколистного сорта Витязь была почти в 2 раза меньше (4,8%), чем семян люпина белого. Этот вид люпина отличается от других большей устойчивостью к антракнозу (см. сноску 1) [11].

В условиях зернохранилища после 12 мес хранения зараженность семян со-

Табл. 1. Количество семян люпина сортов Мичуринский и Витязь, содержащих инфекцию возбудителя антракноза, в зависимости от продолжительности и условий хранения

Table 1. The number of white lupine seeds of the Michurinsky and Vityaz varieties containing anthracnose pathogen infection depending on duration and storage conditions

Условия хранения	Номер образца	Исходная зараженность, %	Зараженность семян при разной продолжительности хранения, %			
			12 мес	24 мес	36 мес	46 мес
Сорт Мичуринский						
При комнатной температуре, в лаборатории	1	8,8	3,6	2,0	0,4	0
	2	7,2	2,4	1,2	0	0
	3	8,4	3,2	1,6	0,4	0
	Среднее	8,1	3,1	1,6	0,3	0
При изменяющейся температуре, в складском помещении	1	8,8	4,8	3,2	1,6	0,8
	2	7,2	3,2	2,0	0,4	0
	3	8,4	4,0	2,4	1,2	0,4
	Среднее	8,1	4,0	2,5	1,1	0,4
Сорт Витязь						
При комнатной температуре, в лаборатории	1	4,8	0,8	0,4	0	0
	2	5,2	1,2	0,8	0,4	0
	3	4,4	0,8	0,4	0	0
	Среднее	4,8	0,9	0,5	0,1	0
При изменяющейся температуре, в складском помещении	1	4,8	1,6	0,8	0,4	0
	2	5,2	2,4	1,2	0,8	0,4
	3	4,4	1,2	0,4	0	0
	Среднее	4,8	1,7	0,8	0,4	0,1

ставила 1,7%, в комнатных условиях – 0,9% (см. табл. 1).

После 46 мес хранения в условиях зернохранилища доля семян с инфекцией антракноза достоверно ($НСР_{05} = 0,49$) снизилась до 0,1%, тогда как в комнатных условиях семена были свободны от инфекции. Очевидно, активное снижение инфицированности семян данным патогеном в комнатных условиях происходило из-за более низкой влажности воздуха, при которой уменьшалось содержание влаги в семенах. Достоверное снижение жизнеспособности гриба произошло уже через 36 мес хранения у семян и белого ($НСР_{05} = 0,72$), и узколистного люпина ($НСР_{05} = 0,38$). Так, при закладке семян на хранение их влажность составляла 14,0%, при хранении в течение четырех лет она снизилась до 7,0%. Аналогичные результаты были получены при хранении семян люпина желтого сорта Быстрорастущий 4 (см. сноску 3).

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что жизнеспособность возбудителя антракноза в инфицированных семенах люпина белого и узколистного сохраняется про-

должительное время. При этом количество семян с жизнеспособной инфекцией достоверно уменьшается начиная с первого года хранения. Поэтому семена прошлых лет по сравнению со свежесобранными представляют меньшую опасность в качестве источника инфекции антракноза в поле.

Фитопатологический анализ семян показал, что в первый год хранения сокращается количество семян с поверхностной инфекцией гриба, которая на проростках люпина проявляется на корневой шейке в виде темно-коричневых пятен, образуя перетяжки, что приводит к гибели проростка. Внутренняя инфекция патогена сохраняется продолжительное время и начинает погибать со второго года хранения. Она проявляется на семядольных листьях и точке роста в виде розовых пятен с большим количеством конидий гриба, которые в полевых условиях вымываются дождем, разносятся ветром по посеву и заражают здоровые растения (см. рис. 2).

В конце третьего и четвертого годов хранения семян люпина в зернохранилищах осталась только внутренняя инфекция гриба.



Рис. 2. Признаки пораженности 7-суточных проростков люпина белым грибом *C. lupini* var. *lupini*:
a – на гипокотиле; *б* – на семядолях

Fig. 2. Infection symptoms of the 7-day old white lupin seedlings with the fungi *C. lupini* var. *lupini*:
a – on the hypocotyl; *б* – on the cotyledon

В комнатных условиях эта инфекция погибла на четвертый год хранения. На рис. 3 представлены колония гриба *C. lupini* var. *lupini*, культивированная на картофельно-глюкозном агаре (КГА) в чашках Петри, и его конидии, выделенные в чистую культуру из семян после трех лет хранения в зернохранилище.

Установлено, что на питательной среде (картофельно-глюкозном агаре) гриб образует воздушный пепельно-серый мицелий. Цилиндрические с закругленными концами конидии обильно развиваются на воздушном мицелии. Размер конидий сильно варьирует – 7,0–21,5 × 3,5–7,0 мкм (см. сноску 1) [11]. Полученная нами колония гриба полностью соответствует по морфологическим признакам колониям, описанным ранее другими исследователями, что подтверждает ее принадлежность к возбудителю антракноза люпина.

Гриб на растительных остатках люпина сохраняется в форме мицелия и подушечек конидий, склеенных в виде студенистой массы, содержащей промен, который и обеспечивает защиту спор от отрицательного влияния абиотических и биотических факторов среды (см. сноску 3) [11].

При изучении роли растительных остатков люпина как дополнительного источника заболевания в полевых условиях установле-

но, что период жизнеспособности гриба зависит от условий, в которых он находится.

По результатам исследования изолятов гриба из растительного материала люпина, хранившегося в комнатных условиях разное время, можно отметить, что при хранении происходит потеря жизнеспособности спор возбудителя антракноза. Так, из четырех образцов 2011 г. не удалось получить ни одного изолята, в 2013 г. получили три изолята из четырех образцов. Следовательно, уже через три года подавляющее большинство спор теряет жизнеспособность, через пять лет происходит полная потеря их жизнеспособности [9].

В наших исследованиях гриб на растительных остатках, хранившихся в комнатных условиях и на открытом воздухе под крышей зернохранилища, сохранял жизнеспособность продолжительное время, при этом она постоянно снижалась. Части хранившихся растений с признаками поражения антракнозом переносили на питательную среду КГА. Результаты опыта представлены в табл. 2

За осенне-зимне-весенний период жизнеспособность гриба, находившегося на растительных остатках в комнатных условиях и на открытом воздухе под крышей зернохранилища, была выявлена у 76,0 и 83,0% проб соответственно, через год (весной 2021 г.) – только у 12,0 и 19,0%.

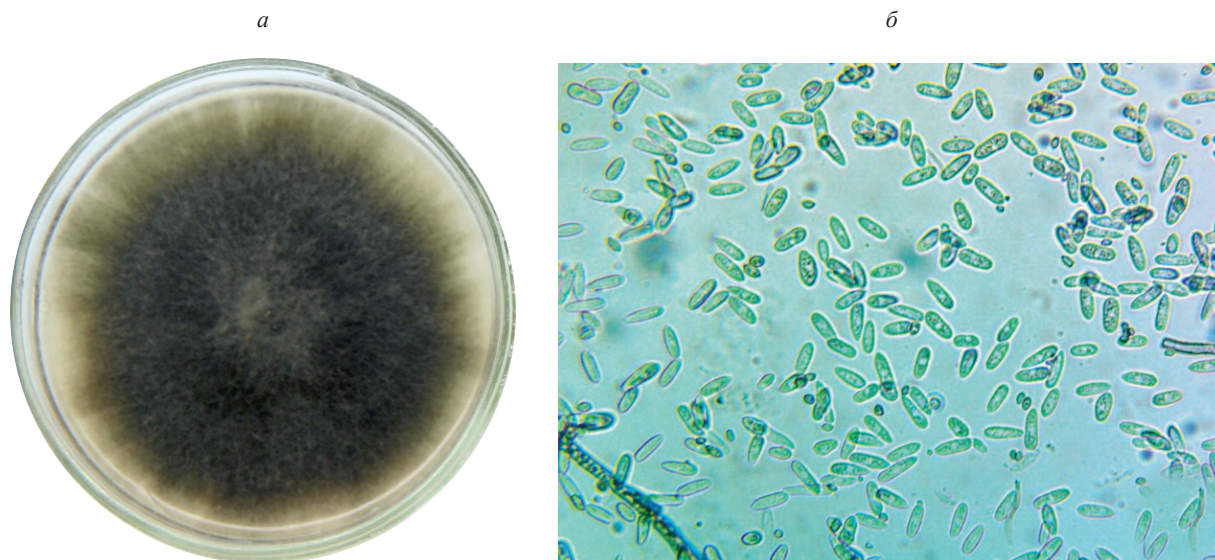


Рис. 3. Возбудитель антракноза люпина гриб *C. lupini* var. *lupini*:

a – внешний вид колонии; *б* – конидии гриба

Fig. 3. Lupin anthracnose pathogen – the fungi *C. lupini* var. *lupini*:

a – colony appearance; *б* – fungi conidia

Табл. 2. Жизнеспособность гриба *C. lupini* var. *lupini* на растительных остатках в зависимости от времени и способа хранения (опыт заложен 05.09.2019 г.)

Table 2. Viability of the fungi *C. lupini* var. *lupini* on plant residue depending on the period and storage conditions (experiment started 05.09.2019)

Срок проведения анализов	Доля образцов с жизнеспособным грибом при различных вариантах хранения, %					
	в комнатных условиях	под крышей зернохранилища	на поверхности почвы	в почве на глубине, см		
				22	16	3
15–21.05.2020 г.	76	83	2	0	0	0
07–13.09.2020 г.	49	54	0	0	0	0
23–29.05.2021 г.	12	19	0	0	0	0

На растительных остатках люпина с признаками поражения антракнозом, разложенных на поверхности почвы, в осенне-зимне-весенний период (с 05.09.2019 г. по 15.05.2020 г.) обнаружены жизнеспособные грибы только в 2,0% случаев. За летний период гриб полностью утратил жизнеспособность (данные за сентябрь 2020 г.). Гриб, находящийся на растительных остатках в почве на глубине 22, 16 и 3 см, в осенне-зимне-весенний период был нежизнеспособным. К концу мая 2021 г. эти растительные остатки почти полностью разложились и стали не пригодными для анализа.

Результаты исследований показывают, что на зараженных растительных остатках

в комнатных условиях и под крышей зернохранилища гриб сохраняет жизнеспособность, но начиная с первого года хранения она снижается.

Жизнеспособность гриба на незапаханных растительных остатках в весенне-летний период сохраняется и может являться источником инфекции при повторном посеве люпина на этом поле. Однако к осени его жизнеспособность полностью утрачивается. Пораженные остатки люпина, находящиеся в почве с осени, не могут быть источником заболевания растений люпина, так как возбудитель антракноза к весне полностью теряет жизнеспособность.

Зеленая масса люпинов желтого и узколистного, запаханная в фазу сизого боба в

почву, через 8,5 мес (к апрелю следующего года) разлагалась на 74,0–79,2%. Стерня и корни как более инертная масса для деятельности микроорганизмов минерализовались медленнее и через 2,0–2,5 мес разложились на 46,9–53,0%, к весне – на 65,1% (см. сноску 3).

При возделывании люпина по классической технологии в зоне достаточного увлажнения обработка почвы предполагает следующие этапы:

1) лущение стерни дисковыми лущильниками на глубину 10–12 см после уборки предшественника;

2) зяблевая вспашка на глубину 20–22 см через 10–14 дней.

Если лущение не проводится, то зяблевую вспашку проводят раньше. Весной (непосредственно перед посевом) почву культивируют на глубину 16 см. Глубина сева семян 2–3 см. В севообороте люпин необходимо возвращать на то же поле не раньше, чем через 2–3 года [1]. При возделывании люпина с такой системой обработки почвы и с соблюдением сроков чередования культур в севообороте зараженные антракнозом растительные остатки не могут служить дополнительным источником инфекции патогена. Это подтверждает проведенный нами опыт, в котором семена люпина белого и узколистного без признаков поражения возбудителем антракноза были посеяны на участке, где в предыдущем году находился посев люпина с признаками поражения антракнозом у растений (65,0%) и бобов (82,0%). После уборки урожая растительные остатки люпина были запаханы в почву на глубину 22 см. Весной на этом поле посеяли люпин. От всходов и до уборки урожая на растениях и бобах люпина белого и узколистного признаки поражения заболеванием не наблюдались. Фитопатологический анализ собранных семян не выявил инфекции антракноза. Данный факт свидетельствует о том, что на перегнивших в течение осенне-зимне-весеннего периода растительных остатках грибок полностью утрачивает жизнеспособность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в климатических условиях Брянской области основным источником инфекции антракноза в посевах люпина являются зараженные семена. Гриб на семенах сохраняет жизнеспособность в условиях зернохранилищ с естественным режимом температуры и влажности до четырех лет. Начиная с первого года хранения количество семян люпина белого с жизнеспособной инфекцией снизилось с 8,1 до 4,0%, узколистного – с 4,8 до 1,7%. Поэтому для посева целесообразно использовать семена урожаев прошлых лет.

Жизнеспособность гриба на растительных остатках люпина, расположенных на поверхности почвы, за осенне-зимне-весенний период снизилась до 2,0%. За летний период грибок полностью утратил жизнеспособность. Конидии и мицелий гриба, перезимовавшие на растительных остатках, оставленных на поверхности почвы, жизнеспособны в течение лета и могут служить источником инфекции антракноза. На растительных остатках люпина, которые находились в почве с осени на глубине 22, 16 и 3 см, жизнеспособность гриба к началу следующего лета не сохранилась.

Если в основную систему обработки почвы в зоне достаточного увлажнения входит осенняя вспашка, тогда растительные остатки люпина не могут стать источником инфекции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косолапов В.М., Яговенко Г.Л., Лукашевич М.И., Агеева П.А., Новик Н.В., Мисникова Н.В., Слесарева Т.Н., Исаева Е.И., Такунов И.П., Пимохова Л.И., Яговенко Т.В. Люпин: селекция, возделывание, использование: монография. Брянск: Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с.
2. Логинов В.Ф., Хитриков М.А. Прогноз изменений биоклиматического потенциала территории Беларуси на период 2016–2035 гг. // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2018. Т. 56. № 1. С. 51–64. DOI: 10.29235/1817-7204-2018-56-1-51-64.
3. Санин С.С. Проблемы фитосанитарии России на современном этапе // Защита и карантин растений. 2016. № 4. С. 3–7.
4. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата //

- Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.641rus.
- Мамеев В.В. Изменение агрометеорологических условий в юго-западной части центра России и их влияние на урожайность озимой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. Т. 6. № 200. С. 5–13.
 - Игнатов А.Н., Кошкин Е.И., Андреева И.В., Гусейнов Г.Г., Гусейнов К.Г., Джалилов Ф.С. Влияние глобальных изменений климата на фитопатогены и развитие болезней растений // Агрохимия. 2020. № 12. С. 81–96. DOI: 10.31857/S0002188120120042.
 - Cui Jiag, Wang Yu, Han Jie. Analyses of the community compositions of root rot pathogenic fungi in the soybean rhizosphere soil // Chilean journal of agricultural research. 2016. Vol. 2. N 76. P. 179–187.
 - Будынкow Н.И., Михалева С.Н. Болезни нута на юге европейской территории России. Семенная инфекция // Достижение науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 31–35. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10707.
 - Нам И.Я., Заякин В.В., Шашко Ю.К., Кобозева М.С., Земекова Л.А., Новикова М.А. Коллекция изолятов возбудителя антракноза люпина // Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества. 2018. № 2 (14). С. 43–49.
 - Пимокхова Л.И., Яговенко Г.Л. Болезни и вредители люпина: система и средства защиты: монография. Брянск: Читай-город, 2020. 88 с.
 - Котова В.В., Кунгурцева О.В. Антракноз сельскохозяйственных растений: монография. Санкт-Петербург, 2014. 132 с. (Приложение к журналу «Вестник защиты растений», № 11).
 - Kosolapov V.M., Yagovenko G.L., Lukashevich M.I., Ageeva P.A., Novik N.V., Misnikova N.V., Slesareva T.N., Isaeva E.I., Taku-nov I.P., Pimokhova L.I., Yagovenko T.V. *Lupin: breeding, cultivation and use*. Bryansk, Bryansk Regional Printing Association, 2020, 304 p. (In Russian).
 - Loginov V.F., Khitrikov M.A. Predicting changes in bioclimatic potential in the territory of Belarus for the period of 2016–2035. *Izvestiya naciona-l'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnyykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*, 2018, vol. 56, no. 1, pp. 51–64. (In Russian). DOI: 10.29235/1817-7204-2018-56-1-51-64.
 - Sanin S.S. Phytosanitary problems of Russia at the present stage. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*, 2016, no. 4, pp. 3–7. (In Russian).
 - Levitin M.M. Microorganisms and global climate change. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2015, vol. 50, no. 5, pp. 641–647. (In Russian). DOI: 10.15389/agro-biology.2015.5.641rus.
 - Mameyev V.V. The changes of agrometeorological conditions in the south-western part of the center of Russia and their influence on winter wheat yields. *Vestnik Altayskogo gosudarstven-nogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2021, vol. 6, no. 200, pp. 5–13. (In Russian).
 - Ignatov A.N., Koshkin E.I., Andreeva I.V., Guseinov G.G., Guseinov K.G., Dzhali-lov F.S. Impact of global climate change on plant pathogens occurrence. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2020, no. 12, pp. 81–96. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188120120042.
 - Cui Jiag, Wang Yu, Han Jie. Analyses of the community compositions of root rot pathogenic fungi in the soybean rhizosphere soil. *Chilean journal of Agricultural Research*, 2016, vol. 2, no. 76, pp. 179–187.
 - Budynkow N.I., Mikhaleva S.N. Diseases of chickpea in the south of European Russia. Seed infection. *Dostizhenie nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 7, pp. 31–35. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10707.
 - Nam I.Ya., Zayakin V.V., Shashko Yu.K., Kobozeva M.S., Zemekova L.A., Novikova M.A. Collection of isolates of the lupin anthracnose pathogen. *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya RBO = Bulletin of Bryansk department of the RBS*, 2018, no. 2 (14), pp. 43–49. (In Russian). DOI: 10.22281/2307-4353-2018-2-43-49.
 - Pimokhova L.I., Yagovenko G.L. *Diseases and pests of lupin: system and protection*. Bryansk, Chitai-gorod Publ., 2020, 88 p. (In Russian).
 - Kotova V.V., Kungurceva O.V. *Anthraco-nose of agricultural plants*. Saint-Petersburg, 2014, 132 p. (Annex to the journal «Plant Protection Herald», no. 11). (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пимохова Л.И., кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Яговенко Г.Л., доктор сельскохозяйственных наук, директор

Царапнева Ж.В., старший научный сотрудник

Хараборкина Н.И., научный сотрудник

✉ **Мисникова Н.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь; **адрес для переписки:** Россия, 241524, Брянская область, п. Мичуринский, ул. Березовая, 2; e-mail: lupin_nvnmisnikova@mail.ru

AUTHOR INFORMATION

Ludmila I. Pimokhova, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher

German L. Yagovenko, Doctor of Science in Agriculture, Director

Zhanna V. Tsarapneva, Senior Researcher

Nina I. Kharaborkina, Researcher

✉ **Nadezhda V. Misnikova**, Candidate of Science in Agriculture, Academic Secretary; **address:** 2, Berezovaya St., Michurinsky, Bryansk Region, 241524, Russia; e-mail: lupin_nvnmisnikova@mail.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 27.03.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 13.07.2023

Дата публикации / Published 20.10.2023

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БИОИНФОРМАТИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И СОЗДАНИИ ПЕСТИЦИДОВ

✉ Казанцев С.А.¹, Памирский И.Э.²

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

²Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал
Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
Томск, Россия

✉ e-mail: stivkaz@yandex.ru

Применение пестицидов сопровождается рядом проблем экологического и агротехнологического характера. Многие пестициды не деградируют и годами находятся в почве, имеют низкую избирательность. Массированное применение пестицидов с неизбирательным характером действия вызвало у вредителей постепенный рост резистентности в связи со стойкими наследуемыми изменениями их ДНК. Это сказывается на эффективности выращивания сельскохозяйственных растений и загрязнении окружающей среды и продуктов питания. В разрешении этой проблемы могут помочь методы компьютерной биологии, которые активно развиваются во всем мире. Несмотря на то, что в России методы биоинформатики применяют для изучения генов растений животных, метабеномов микроорганизмов, собственные базы данных и специализированные компьютерные приложения для подобных исследований и модернизации пестицидов отсутствуют. Разработка отечественных аналогичных инструментов биоинформатики также является актуальной задачей. В статье освещена проблема создания новых эффективных и экологически безопасных пестицидов. Приведены методы биоинформатики, которые можно применять при исследовании и разработке пестицидов. Рассмотрены этапы создания новых пестицидов методами биоинформатики (обзор баз данных, моделирование молекул, моделирование взаимодействия пестицида с мишенью, прогнозирование биологической активности). Дано описание методов оптимизации молекулярного каркаса пестицидов, представляющей собой изменение углеродного скелета с целью поиска новых активных соединений и отсеивания множества похожих соединений в химическом пространстве. Приведены зарубежные веб-ресурсы, применяемые для оценки наличия у веществ пестицидных свойств, таких как токсичность, метаболизм и физико-химические свойства, и последующей регистрации их как пестицидов.

Ключевые слова: пестициды, биоинформатика, виртуальный скрининг, докинг, моделирование

APPLICATION OF BIOINFORMATICS METHODS IN PESTICIDE RESEARCH AND DEVELOPMENT

✉ Kazantsev S.A.¹, Pamirsky I.E.²

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

²Siberian Scientific Research Institute of Agriculture and Peat (branch of SFSCA RAS)
Tomsk, Russia

✉ e-mail: stivkaz@yandex.ru

The use of pesticides is accompanied by a number of environmental and agrotechnological problems. Many pesticides do not degrade and stay in the soil for years and have low selectivity. Massive application of pesticides with non-selective nature of action caused a gradual increase of resistance in pests due to persistent inherited changes in their DNA. This affects the efficiency of growing agricultural plants and pollution of the environment and food. Computational biology methods, which are actively developing all over the world, can help to solve this problem. Despite the fact that in Russia bioinformatics methods are used to study plant genes of animals, metagenomes of microorganisms, there are no own databases and specialized computer applications for such research and pesticide modernization. Development of domestic similar bioinformatics tools is also an urgent task. The ar-

ticle highlights the problem of creating new effective and environmentally friendly pesticides. The methods of bioinformatics that can be used in the research and development of pesticides are given. The stages of creating new pesticides by bioinformatics methods (review of databases, modeling of molecules, modeling of the interaction of a pesticide with a target, prediction of biological activity) are considered. A description is given of the methods for optimizing the molecular framework of pesticides, which is a change in the carbon skeleton in order to search for new active compounds and screen out many similar compounds in the chemical space. Foreign web resources used to assess the presence of pesticidal properties in substances, such as toxicity, metabolism and physico-chemical properties, and their subsequent registration as pesticides are given.

Keywords: pesticides, bioinformatics, virtual screening, docking, modeling

Для цитирования: Казанцев С.А., Памирский И.Э. Применение методов биоинформатики при исследовании и создании пестицидов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 60–67. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-7>

For citation: Kazantsev S. A., Pamirsky I. E. Application of bioinformatics methods in pesticide research and development. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 60–67. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-7>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в соответствии с грантом № 075-15-2021-545 в рамках Постановления Правительства России № 220 от 9 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные организации высшего образования, научные учреждения и государственные научные центры Российской Федерации».

Acknowledgments

The work was carried out in accordance with the grant № 075-15-2021-545 within the framework of the Russian Government Resolution № 220 of April 9, 2010 “On Measures to Attract Leading Scientists to Russian Educational Organizations of Higher Education, Scientific Institutions and State Research Centers of the Russian Federation”.

Изначально свойства пестицидов были неизвестны, а название «пестициды» («pestis» – зараза и «cido» – убиваю) дано им после обнаружения у них способности вызывать гибель различных организмов. Постепенно пестициды начали применять в больших количествах против вредителей сельскохозяйственных культур и продуктов (вредные насекомые, сорняки, фитопатогенные грибы и др.). В XX в., несмотря на регулирующие законы, массовое применение пестицидов приобрело практически бесконтрольный характер, поэтому в XXI в. для народного хозяйства высоко актуальна проблема накопления пестицидов.

Известно, что многие пестициды ввиду своей выраженной токсичности способны нарушить жизнедеятельность многих видов организмов, в том числе людей и животных¹. Активное изучение токсичности пестицидов и разработку методов их анализа в биологи-

ческих объектах ведут с 1950 г.² Пестициды способны долгое время сохраняться в объектах окружающей среды (растения, почва, вода и др.) и организмах теплокровных животных, поедающих обработанные пестицидами растения, что приводит к отравлению человека ингаляционно, перорально, трансдермально и другими путями. Кроме того, у вредителей вырабатывается устойчивость к пестицидам.

В настоящее время для повышения урожайности и сохранения сельскохозяйственных продуктов требуются все более эффективные пестициды. При этом они должны быть безопасны для людей и окружающей среды.

Создание пестицидов – сложный процесс, требующий много времени и средств. Каждый новый пестицид должен быть протестирован против более чем на 140 000 различных соединений, что занимает более 10 лет и оценивается в более чем 286 млн дол. [1]. Для обеспече-

¹Крамаренко В.Ф. Токсикологическая химия. Киев: Выща школа. Головное изд-во, 1989. 393 с.

²Вергейчик Т.Х. Токсикологическая химия. М.: МЕДпресс-информ. 2009. 350 с.

ния безопасности, а также экономии времени, труда и других ресурсов, необходимо искать альтернативные пути создания пестицидов. Одним из таких путей является использование компьютерных методов – биоинформатики [2].

Методы биоинформатики

Биоинформатика – междисциплинарная область, объединяющая общую биологию, молекулярную биологию, кибернетику, генетику, химию, компьютерные науки, математику и статистику. Применение ее методов вносит значимый вклад в изучение биологически активных веществ, поскольку в основе лежит быстрый анализ больших массивов данных, в том числе полученных путем обширного эмпирического опыта.

Моделирование пестицида напрямую связано с проектированием его структуры [3]. Данный процесс состоит из четырех этапов:

- изучения баз данных о молекулах, которые содержат информацию о структурах и сайтах связывания лигандов³;
- молекулярного докина;
- оптимизации молекулярного каркаса;
- оценки пестицидоподобности.

Базы данных белков и низкомолекулярных соединений

Базы данных о белках важны как источник информации для целей структурного дизайна и может дать исследователям лучшее понимание патогенных механизмов [3], предоставив данные о целевой структуре, активных сайтах, белковой последовательности и др. Базы данных о низкомолекулярных веществах позволяют ограничить выбор молекул

благодаря подтвержденным физико-химическим свойствам, энергетическим параметрам (электростатический потенциал, дипольный момент и др.) и биологической активности. Выбор подходящей библиотеки молекулярных соединений значительно повышает эффективность работы. Самой крупной является база данных белков (Protein Data Bank, PDB)⁴. Она содержит более 200 000 записей, информацию о фундаментальных, вторичных и кристаллических структурах биологических макромолекул⁵. База данных белковых последовательностей Uniport⁶ также предоставляет аннотацию высокого уровня (трансляционные модификации, структуру домена, функцию белка и др.)^{7, 8}. Востребованной диверсифицированной библиотекой соединений является база данных ChemBridge⁹, основанная на 3D-дизайне фармакофоров. За 28 лет она накопила более 1 300 000 соединений¹⁰.

Есть существенные недостатки баз данных: недостаточно термодинамических параметров, связанных с белками, а также информации о взаимодействии белков и пестицидов.

Молекулярный докинг (виртуальный скрининг)

Молекулярный докинг представляет собой виртуальное моделирование стыковки молекул. Это подходящий выбор для моделирования 3D-структуры комплекса рецептор-лиганд и оценки стабильности комплекса. Виртуальный скрининг – эффективная стратегия идентификации биологически активных молекул, имеющая потенциал для значительного ускорения открытия пестицидов¹¹. Основная задача докинга – исследовать

³López Pazos S.A., Cerón Salamanca J.A. Minireview and hypothesis: homology modelling of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) am inopeptidase N receptor // Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2008. Vol. 32 (123). P. 139–144.

⁴<https://www.wwpdb.org>.

⁵<https://www.rcsb.org/news/639b9e337f8444f313d20414>.

⁶<https://www.uniprot.org>.

⁷Boutet E., Lieberherr D., Tognolli M., Schneider M., Bairoch A. UniProtKB/Swiss-Prot // Methods in molecular biology (Clifton, N.J.). 2007. Vol. 406. P. 89–112. DOI: 10.1007/978-1-59745-535-0_4.

⁸Bairoch A., Apweiler R. The SWISS-PROT protein sequence database and its supplement TrEMBL in 2000. Nucleic Acids Research. 2000. Vol. 28 (1). P. 45–48. DOI: 10.1093/nar/28.1.45.

⁹<https://chembridge.com>.

¹⁰Facts K. Chembridge screening libraries. Oct. 2022. <https://chembridge.com/>.

¹¹Wermuth C.G., Villoutreix B., Grisoni S., Olivier A., Rocher J-P. Chapter 4 – strategies in the search for new lead compounds or original working hypotheses. In: Wermuth C.G., Aldous D., Raboisson P., Rognan D., eds. The Practice of Medicinal Chemistry. fourth ed. San Diego: Academic Press. 2015. P. 73–99. DOI: 10.1021/acsomega.8b00778.

конформационное пространство лигандов, связывающихся с молекулами-мишенями и ранжировать это пространство согласно оцененной аффинности связывания.

Методы молекулярного докинга можно условно разделить на четыре категории:

- методы сопоставления форм (например, SANDOCK). В этой категории не учитывается внутренняя гибкость молекул;
- систематические методы (например, DOCK, FlexX). DOCK формирует основной сегмент за счет пространственной комплементарности, систематически исследуя пространство позы каждого ключа. FlexX размещает фрагменты жесткого ядра на основе групп взаимодействия между фрагментами и рецепторами;
- стохастические методы (например, Монте-Карло);
- методы моделирования динамики молекул.

Методы оценки можно условно разделить на три категории:

- основанные на физике (такие, как DOCK, GOLD, Ledock);
- на основе регрессии (например, Autodock, Vina, Surflex, Glide);
- на основе знаний.

Усовершенствование высокопроизводительных процедур скрининга методами количественного соотношения структура – активность (QSAR, quantitative structure-activity relationship) позволяет ускорить скрининг большого количества соединений в одинаковых условиях испытаний, уменьшив риск повторения переменных данных испытаний из многих источников. И метод докинга, и метод QSAR помогают определить подходящую молекулу-кандидата для пестицида¹².

При использовании подходов виртуального скрининга в настоящее время существует ряд проблем: трудность в определении местонахождения карманов аллостерического связывания; сложность вычислений и соответствующего построения модели белка за-

трудняет учет его гибкости; сильное влияние десольватации, энтропийного штрафа, конформационного напряжения и др.; существующими оценочными методами по-прежнему сложно прогнозировать аффинность связывания различных малых молекул с высокой точностью. Разрешение этих проблем необходимо для дальнейшего развития виртуального скрининга.

Оптимизация молекулярного каркаса

Оптимизация молекулярного каркаса необходима для получения базовых молекулярных соединений. Методы, применяемые на данном этапе структурного молекулярного дизайна, упрощают изменение углеродного скелета, что уменьшает синтез множества похожих соединений и повышает эффективность поиска новых активных соединений.

В различных сценариях требуются подходящие инструменты оптимизации молекулярного каркаса. В 2020 г. разработано автоматическое управление эволюцией лигандов *in silico* (AILDE) с использованием одноэтапных стратегий моделирования FEP и MD для быстрой идентификации базовых соединений в разработке препаратов в доступном химическом пространстве [4].

Дизайн на основе фрагментов – еще один метод оптимизации. В 2016 г. выпущен сервер Auto Core Fragment *in silico* Screening (ACFIS) для поиска ведущих соединений на основе фрагментов. Он включает в себя вычислительные модули PARA_GEN, CORE_GEN и CAND_GEN, использует метод анализа деконструкции фрагмента для получения ключевой структуры, где происходит рост фрагмента¹³.

В использовании инструментов оптимизации молекулярного каркаса также имеется ряд проблем:

- основная проблема – выбор ключевой структуры молекулярного каркаса;
- из-за слабых фармакологических характеристик имеющихся соединений текущие библиотеки фрагментов необходимо заменить на более широкие;

¹²Li X., Luan F., Si H., Hu Z., Liu M. Prediction of retention times for a large set of pesticides or toxicants based on support vector machine and the heuristic method // Toxicology Letters. 2007. Vol. 175 (1–3). P. 136–144. DOI: 10.1016/j.toxlet.2007.10.005.

¹³Hao G.F., Jiang W., Ye Y.N. et al. ACFIS: a web server for fragment-based drug discovery // Nucleic Acids Research. 2016. Vol. 44 (W1). P. W550–W556. DOI: 10.1093/nar/gkw393.

- недостаточно изучены дескрипторы формы, параметры многомерной структуры и молекулярная топология соединений [5];
- необходимо принимать во внимание параметры сложности соединений, особенно хиральных¹⁴;
- трудно учитывать фотостабильность, проницаемость, растворимость и экотоксикологию молекул пестицидов^{15, 16} [6].

Определение пестицидоподобности

Процесс разработки пестицидов может быть ускорен веб-ресурсом ADMET¹⁷, предоставляющим базу данных и модели, которые фильтруют большое количество соединений перед тестированием на биодоступность [7]. Также применяют Pesticide Info – базу данных с возможностью поиска в Интернете, созданную на основе Pesticide Action Network (PAN)¹⁸. Еще одним примером является база знаний ECOTOX¹⁹, объединяющая три ранее независимые базы данных – AQUIRE, RNYTOTOX и TERRETOX – в уникальную систему, в которой 12 281 данных о токсичности химических веществ получено преимущественно из рецензируемой литературы.

Для выявления пестицидоподобности применяют модели анализа сходства с пестицидами. Так, за последние 10 лет соответствующие инструменты постоянно совершенствовались. В 2014 г. установлен метод QEP, реализуемый путем вычисления экспоненциальных функций желательности

нескольких дескрипторов, а затем их условного суммирования²⁰. Относительное подобие препаратов (RDL) – это количественная функция, используемая для прогнозирования пестицидоподобности²¹. В 2019 и 2021 гг. на основе известных молекулярных структур пестицидов рассчитаны молекулярные дескрипторы, подогнаны данные, получены значения ключевых параметров количественной оценки пестицидоподобности, относительный класс химического соединения и функция Гаусса, а также установлено 9 оценочных функций классов пестицидов [7–9].

Другой метод FungiPAD также используется для быстрого прогнозирования биодоступности, физико-химических свойств и сходства с фунгицидами. InsectiPAD обеспечивает всесторонний анализ сходства с инсектицидами для любых соединений. Помимо этого, Группа сельскохозяйственных и экологических исследований Университета Хартфордшира разработала базу данных о свойствах пестицидов²².

Примеры создания пестицидов *in silico*

Пример 1. Ингибитор митоген-активируемой протеинкиназы FgGpmk1.

Митоген-активируемая протеинкиназа (МАПК) играет важную роль в патогенности, дифференцировке и росте клеток фитопатогенных грибов²³. Известно, что фермент МАПК FgGpmk1 тесно связан с проникновением и вирулентностью у *Fusarium graminearum*^{24, 25}

¹⁴Hao G., Dong Q., Yang G. A comparative study on the constitutive properties of marketed pesticides // *Molecular Informatics*. 2011. Vol. 30. P. 614–622. DOI:10.1002/minf.201100020.

¹⁵Aktar M.W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards // *Interdisciplinary Toxicology*. 2009. Vol. 2 (1). P. 1–12. DOI: 10.2478/v10102-009-0001-7.

¹⁶Duke S.O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? // *Pest Management Science*. 2012. Vol. 68 (4). P. 505–512. DOI: 10.1002/ps.2333.

¹⁷<https://admetmesh.scbdd.com>.

¹⁸<https://pan-international.org/pan-regional/>.

¹⁹<https://cfpub.epa.gov/ecotox/>.

²⁰Avram S., Funar-Timofei S., Borota A., Chennamaneni S.R., Manchala A.K., Muresan S. Quantitative estimation of pesticide-likeness for agrochemical discovery // *Journal of Cheminformatics*. 2014. Vol. 6 (42). DOI: 10.1186/s13321-014-0042-6.

²¹Yusof I., Segall M.D. Considering the impact drug-like properties have on the chance of success // *Drug Discovery Today*. 2013. Vol. 18 (13–14). P. 659. DOI: 10.1016/j.drudis.2013.02.008.

²²http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/purchase_database.htm.

²³Hamel L.P., Nicole M.C., Duplessis S., Ellis B.E. Mitogen-activated protein kinase signaling in plant-interacting fungi: distinct messages from conserved messengers // *The Plant Cell*. 2012. Vol. 24 (4). P. 1327–1351. DOI: 10.1105/tpc.112.096156.

²⁴Wang C.F., Zhang S.J., Hou R. et al. Functional analysis of the kinome of the wheat scab fungus *Fusarium graminearum* // *PLOS Pathogens*. 2011. Vol. 7 (12). P. e1002460. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002460.

²⁵Gu Q., Zhang C.Q., Liu X., Ma Z.H. A transcription factor FgSte12 is required for pathogenicity in *Fusarium graminearum* // *Molecular Plant Pathology*. 2015. Vol. 16 (1). P. 1–13. DOI: 10.1111/mp.12155.

[10]. По этой причине FgGpmk1 считается привлекательной мишенью для ингибирования фузариозной гнили. В 2021 г. применена междисциплинарная стратегия разработки пестицидов для разработки ингибиторов FgGpmk1 (см. сноску 24). Процесс структурной оптимизации показан на рис. 1.

Путем виртуального скрининга получено соединение № 21, показавшее оптимальную активность ($EC_{50} = 13,01 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$). Дальнейшая структурная оптимизация, представленная добавлением основания Шиффа, показала, что образовавшееся соединение 94 имеет более высокую активность ($EC_{50} = 3,46 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$). Наблюдая симуляцию молекулярного дизайна, можно предположить, что основание Шиффа образует жизненно важную водородную связь с Glu69, чтобы стабилизировать конформацию соединения № 94. Данная водородная связь совершенно отличается от той, которая образуется между пиразолпиримидиновой группой соединения 21 и Glu31 (см. рис. 1). Это объясняет, почему соединение № 94 активнее соединения № 21. Однако возможности воздействия на фермент МАПК FgGpmk1 все еще требует дальнейшего изучения [10]. Следует

установить, какова роль МАПК FgGpmk1 во взаимодействиях фитопатогенных грибов с растениями, которые относятся к сельскохозяйственным культурам [11]. Дальнейшего изучения также требуют транскрипционные факторы FgGpmk1, регулирующие жизнедеятельность *Fusarium graminearum*, о которых мало что известно.

Пример 2. Ингибитор хитиназы OfChi-h

Хитин является ключевым компонентом перитрофической мембраны насекомых и экзоскелета средней кишки^{26, 27} [12]. Поскольку хитин отсутствует у высших растений и млекопитающих, его можно рассматривать как удобную цель для действия пестицидов при их разработке [13]. Для получения соединения VS-5 путем виртуального скрининга использованы молекулы базы данных ZINC. Процесс структурной оптимизации показан на рис. 2.

В режиме связывания видно, что 4-хлорфенильный фрагмент 8f немного перемещается в сторону входа в карман OfChi-h (см. рис. 2) и образует сильное π - π -взаимодействие с Trp389. Кроме того, модификация группы этилового эфира в бензильную группу приводила к Н- π -взаимодействию с Asp384. Полученные результаты объясняют, почему ингибирующая

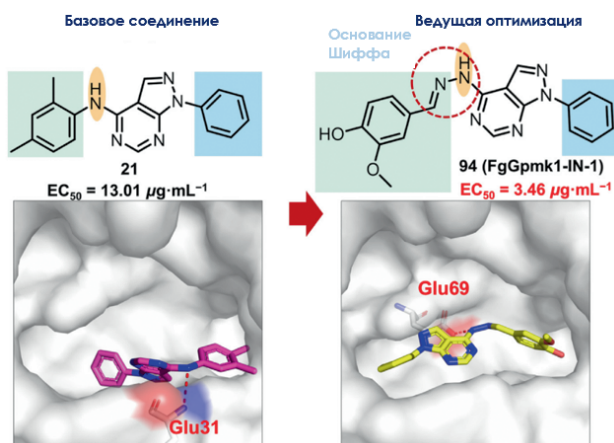


Рис. 1. Структурный молекулярный дизайн ингибитора митоген-активируемой протеинкиназы *Fusarium graminearum* [3]

Fig. 1. Structural molecular design of *Fusarium graminearum* mitogen-activated protein kinase inhibitor [3]

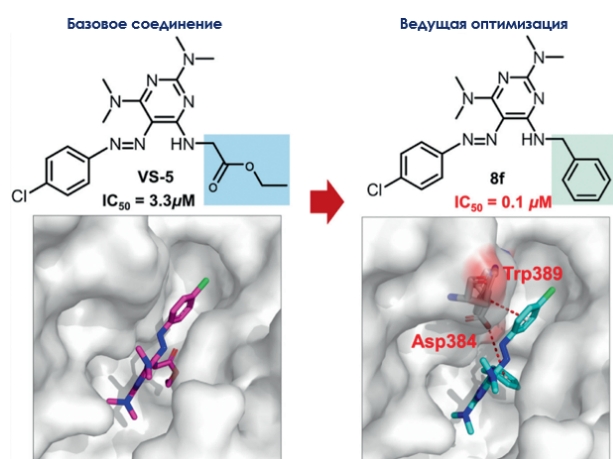


Рис. 2. Структурный молекулярный дизайн ингибитора хитиназы OfChi-h [3]

Fig. 2. Structural molecular design of the chitinase inhibitor OfChi-h [3]

²⁶Alvarenga E.S., Mansur J.F., Justi S.A. et al. Chitin is a component of the Rhodnius prolixus midgut // Insect Biochemistry and Molecular Biology. 2016. Vol. 69. P. 61–70. DOI: 10.1016/j.ibmb.2015.04.003.

²⁷Kumirska J., Thoming J., Stepnowski P. Biomedical activity of chitin/chitosan based materials – influence of physicochemical properties apart from molecular weight and degree of N-acetylation // Polymers. 2011. Vol. 3 (4). P. 1875–1901. DOI: 10.3390/polym3041875.

активность соединения 8f ($IC_{50} = 0,1 \mu M$) выше, чем у VS-5 ($IC_{50} = 0,33 \mu M$) [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение пестицидов сопровождается рядом проблем экологического и агротехнологического характера. Многие пестициды не деградируют и годами находятся в почве, имеют низкую избирательность. Массированное применение пестицидов с неизбирательным характером действия вызвало у вредителей постепенный рост резистентности в связи со стойкими наследуемыми изменениями их ДНК²⁸, что сказывается на эффективности выращивания сельскохозяйственных растений и загрязнении окружающей среды и продуктов питания. В связи с этим требуется разработка новых таргетных и биоразлагаемых пестицидов. Здесь могут помочь методы компьютерной биологии, которые активно развиваются во всем мире. Следует отметить, что несмотря на то, что в России методы биоинформатики активно применяют для изучения генов растений животных, метагеномов микроорганизмов, собственные базы данных и специализированные компьютерные приложения для подобных исследований и модернизации пестицидов отсутствуют. Разработка отечественных аналогичных инструментов биоинформатики также является актуальной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li X., Yang X., Zheng X., Bai M., Hu D. Review on structures of pesticide targets // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21 (19). P. 7144. DOI: 10.3390/ijms21197144.
2. Памирский И.Э., Тимкин П.Д., Тимофеев Э.А., Котельников Д.Д., Алексейко Л.Н., Климович С.В., Бородин Е.А., Голохваст К.С. Исследование молекулярных механизмов связывания гербицидов с белками-мишенями сорных растений методами *in silico* // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 3. С. 36–43. DOI: 10.31857/S2500262723030079.
3. Wei Zhao, Yuan-qin Huang, Ge-Fei Hao. Pesticide informatics expands the opportunity for structure-based molecular design and optimization // *Advanced Agrochem*. 2022. Vol. 1 (2). P. 139–147. DOI: 10.1016/j.aac.2022.11.006.
4. Wu F.X., Zhuo L., Wang F., Huang W., Hao G.F., Yang G.F. Auto in silico ligand directing evolution to facilitate the rapid and efficient discovery of drug lead // *iScience*. 2020. Vol. 23 (6). P. 101179. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101179.
5. Ouyang Y., Huang J.J., Wang Y.L., Zhong H., Song B.A., Hao G.F. In silico resources of pesticide-likeness as a mirror: what are we lacking in pesticide-likeness? // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2021. Vol. 69 (37). P. 10761–10773. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c01460.
6. Zhang L., Yan C., Guo Q., Zhang J., Ruiz-Menjívar J. The impact of agricultural chemical inputs on environment: global evidence from informetrics analysis and visualization // *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2018. Vol. 13 (4). P. 338–352. DOI: 10.1093/ijlct/cty039.
7. Wang M.Y., Wang F., Hao G.F., Yang G.F. FunGiPAD: a free web tool for compound property evaluation and fungicide-likeness analysis // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. Vol. 67 (7). P. 1823–1830. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b06596.
8. Jia C.Y., Wang F., Hao G.F., Yang G.F. InsectiPAD: a web tool dedicated to exploring physicochemical properties and evaluating insecticide-likeness of small molecules // *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2019. Vol. 59 (2). P. 630–635. DOI: 10.1021/acs.jcim.8b00843.
9. Huang J.J., Wang F., Ouyang Y. HerbiPAD: a free web platform to comprehensively analyze constitutive property and herbicide-likeness to estimate chemical bioavailability // *Pest Management Science*. 2021. Vol. 77 (3). P. 1273–1281. DOI: 10.1002/ps.6140.
10. Fu W.T., Wang E.C., Ke D. Discovery of a novel *Fusarium graminearum* mitogen-activated protein kinase (FgGpmk1) inhibitor for the treatment of *Fusarium* head blight // *Journal of Medicinal Chemistry*. 2021. Vol. 64 (18). P. 13841–13852. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.1c01227.
11. Basheer J., Vadovic P., Samajova O. Knockout of MITOGEN-ACTIVATED PROTEIN KINASE 3 causes barley root resistance against *Fusarium graminearum* // *Plant Physiology*. 2022. Vol. 190 (4). P. 2847–2867. DOI: 10.1093/plphys/kiac389.
12. Itoh T., Kimoto H. Bacterial Chitinase system as a model of chitin biodegradation // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2019. N 1142. P. 131–151. DOI: 10.1007/978-981-13-7318-3_7.
13. Komi D.E.A., Sharma L., Dela Cruz C.S. Chitin and its effects on inflammatory and immune responses // *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*. 2018. Vol. 54 (2). P. 213–223. DOI: 10.1007/s12016-017-8600-0.

²⁸Вайсбанд Голд <https://www.pesticidy.ru/dictionary/resistance>.

14. Dong L.L., Shen S.Q., Jiang X. Discovery of azo-aminopyrimidines as novel and potent Chitinase of chi-h inhibitors via structure-based virtual screening and rational lead optimization // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022. Vol. 70 (38). P. 12203–12210. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c03997.

REFERENCES

1. Li X., Yang X., Zheng X., Bai M., Hu D. Review on structures of pesticide targets. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, vol. 21 (19), p. 7144. DOI: 10.3390/ijms21197144.
2. Pamiirsky I.E., Timkin P.D., Timofeev E.A., Kotelnikov D.D., Alexeiko L.N., Klimovich S.V., Borodin E.A., Golokhvast K.S. Study of molecular mechanisms of herbicide binding to target proteins of weeds by *in silico* methods. *Rossiyskaya sel'skhozayajstvennaya nauka = Russian Agricultural Sciences*, 2023, vol. 3, pp. 36–43. (In Russian). DOI: 10.31857/S2500262723030079.
3. Wei Zhao, Yuan-qin Huang, Ge-Fei Hao. Pesticide informatics expands the opportunity for structure-based molecular design and optimization. *Advanced Agrochem*, 2022, vol. 1 (2), pp. 139–147. DOI: 10.1016/j.aac.2022.11.006.
4. Wu F.X., Zhuo L., Wang F., Huang W., Hao G.F., Yang G.F. Auto in silico ligand directing evolution to facilitate the rapid and efficient discovery of drug lead. *iScience*, 2020, vol. 23 (6), p. 101179. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101179.
5. Ouyang Y., Huang J.J., Wang Y.L., Zhong H., Song B.A., Hao G.F. In silico resources of drug-likeness as a mirror: what are we lacking in pesticide-likeness? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, vol. 69 (37), p. 10761–10773. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c01460.
6. Zhang L., Yan C., Guo Q., Zhang J., Ruiz-Menjivar J. The impact of agricultural chemical inputs on environment: global evidence from informetrics analysis and visualization. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2018, vol. 13 (4), pp. 338–352. DOI: 10.1093/ijlct/cty039.
7. Wang M.Y., Wang F., Hao G.F., Yang G.F. FungiPAD: a free web tool for compound property evaluation and fungicide-likeness analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, vol. 67 (7), pp. 1823–1830. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b06596.
8. Jia C.Y., Wang F., Hao G.F., Yang G.F. InsectiPAD: a web tool dedicated to exploring physicochemical properties and evaluating insecticide-likeness of small molecules. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2019, vol. 59 (2), pp. 630–635. DOI: 10.1021/acs.jcim.8b00843.
9. Huang J.J., Wang F., Ouyang Y. HerbiPAD: a free web platform to comprehensively analyze constitutive property and herbicide-likeness to estimate chemical bioavailability. *Pest Management Science*, 2021, vol. 77 (3), pp. 1273–1281. DOI: 10.1002/ps.6140.
10. Fu W.T., Wang E.C., Ke D. Discovery of a novel *Fusarium graminearum* mitogen-activated protein kinase (FgGpmk1) inhibitor for the treatment of *Fusarium* head blight. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2021, vol. 64 (18), pp. 13841–13852. DOI: 10.1021/acs.jmedchem.1c01227.
11. Basheer J., Vadovic P., Samajova O. Knock-out of MITOGEN-ACTIVATED PROTEIN KINASE 3 causes barley root resistance against *Fusarium graminearum*. *Plant Physiology*, 2022, vol. 190 (4), pp. 2847–2867. DOI: 10.1093/plphys/kiac389.
12. Itoh T., Kimoto H. Bacterial Chitinase system as a model of chitin biodegradation. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2019, no. 1142, pp. 131–151. DOI: 10.1007/978-981-13-7318-3_7.
13. Komi D.E.A., Sharma L., Dela Cruz C.S. Chitin and its effects on inflammatory and immune responses. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 2018, vol. 54 (2), pp. 213–223. DOI: 10.1007/s12016-017-8600-0.
14. Dong L.L., Shen S.Q., Jiang X. Discovery of azo-aminopyrimidines as novel and potent Chitinase of chi-h inhibitors via structure-based virtual screening and rational lead optimization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, vol. 70 (38), pp. 12203–12210. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c03997.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ Казанцев С.А., младший научный сотрудник; адрес для переписки: Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: stivkaz@yandex.ru

Памирский И.Э., кандидат биологических наук, заместитель директора; e-mail: pamiirskiyie@sfsc.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ Stepan A. Kazantsev, Junior Researcher; address: PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: stivkaz@yandex.ru

Igor E. Pamiirsky, Candidate of Science in Biology, Deputy Director; e-mail: pamiirskiyie@sfsc.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 05.05.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 12.08.2023

Дата публикации / Published 20.10.2023



ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ БИОДОБАВОК ФИТОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕПЕЛОВ

✉ Носенко Н.А.¹, Егоров С.В.¹, Магер С.Н.^{1,2}, Свиязова Ю.И.²

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия

✉ e-mail: nosenko_n@ngs.ru

Проведены сравнительные исследования по изучению влияния фитобиодобавок из натурального растительного сырья и с синтетическим адаптогеном аурулом в комплексе с арабиногалактаном на продуктивные показатели перепелов. Ежедневное включение биодобавок в рационы перепелов с 5-суточного и до 107-дневного возраста по-разному влияло на их сохранность и продуктивные показатели. Контрольная группа получала основной рацион, 1-я опытная группа – основной рацион с выпаиванием водного раствора аурула с арабиногалактаном; во 2-й опытной группе к 99,9% основного рациона добавляли 0,1% биодобавки № 1, состоящей из порошка корня родиолы розовой с арабиногалактаном; в 3-й опытной группе в первый период выращивания – 98,4% основного рациона + 1,6% биодобавки № 2, состоящей из порошка корня родиолы розовой, скорлупы кедрового ореха и хвои сосны с арабиногалактаном, во второй период – 98,3% основного рациона + 1,7% биодобавки № 2а. Изучен биохимический состав крови, мышечной ткани тушек перепелов, яиц перепелок. В период выращивания перепелов включение в основной состав рациона опытных групп комплексных биодобавок растительного происхождения с арабиногалактаном № 1 и № 2 способствовало увеличению их живой массы на 7,6 и 11,1%, среднесуточного прироста на 8,6 и 12,4%, убойного выхода потрошенной тушки на 0,9 и 1,5%, повышению сохранности на 5,7 и 1,4% по сравнению с контрольной группой. В начале яйценоскости лучшие результаты были при использовании натуральных комплексных биодобавок. У несушек 2-й и 3-й опытных групп проброс яиц начался на 2 дня раньше, они имели наивысшую интенсивность яйцекладки (66,98 и 61,67%). По сравнению с контрольной группой более высокая средняя масса одного яйца отмечена во 2-й опытной группе – на 5,7%, интенсивность яйцекладки выше на 15,0, яйцемасса – на 38,9%.

Ключевые слова: перепела, аурул, арабиногалактан, биодобавки растительного происхождения, продуктивность, сохранность, яйценоскость

EFFECT OF COMPLEX BIOADDITIVES OF PHYTOGENIC ORIGIN ON PRODUCTIVE PERFORMANCE OF QUAILS

✉ Nosenko N.A.¹, Egorov S.V.¹, Mager S.N.^{1,2}, Sviyazova Yu.I.²

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

²Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: nosenko_n@ngs.ru

Comparative research on studying the influence of phytobioadditives from natural plant raw materials and with synthetic adaptogen Aurol in complex with arabinogalactan on quail productive indices

were carried out. Daily inclusion of bio-additives in the diets of quails, from 5 days to 107 days of age, had a different effect on the safety and their productive performance. The control group received the basic diet, the 1st experimental group – the basic diet with drinking aqueous solution of aurol with arabinogalactan; in the 2nd experimental group 0.1% of bio-additive No. 1 consisting of roseroot powder with arabinogalactan was added to 99.9% of the basic diet; in the 3rd experimental group – 98.4% of the basic diet + 1.6% of bio-additive No. 2 consisting of roseroot powder, pine nut shell and pine needles with arabinogalactan in the first period of growing; in the second period – 98.3% of the basic diet + 1.7% of bio-additive No. 2a. Biochemical composition of blood, muscle tissue of quail carcasses, quail eggs was studied. In the period of quails growing, inclusion of complex bio-additives of plant origin with arabinogalactan No. 1 and No. 2 in the main composition of the diet of experimental groups increased their live weight by 7.6 and 11.1%; average daily gain by 8.6 and 12.4%; slaughter yield of gutted carcass by 0.9 and 1.5%; increased safety by 5.7 and 1.4% compared to the control group. At the beginning of egg production, the best results were with natural complex bio-additives. The laying hens of the 2nd and 3rd experimental groups started egg laying 2 days earlier, they had the highest egg laying intensity (66,98 and 61,67%). In comparison with the control group, a higher average weight of one egg was observed in the 2nd experimental group – by 5.7%, the intensity of oviposition was higher – by 15.0%, egg mass – by 38.9.

Keywords: quail, aurol, arabinogalactan, bio-additives of plant origin, productivity, safety, egg production

Для цитирования: Носенко Н.А., Егоров С.В., Мазер С.Н., Свиязова Ю.И. Влияние комплексных биодобавок фитогенного происхождения на продуктивные показатели перепелов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 68–79. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-8>

For citation: Nosenko N.A., Egorov S.V., Mager S.N., Sviyazova Yu.I. Effect of complex bioadditives of phytogenic origin on productive performance of quails. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 68–79. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-8>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного развития перепеловодства необходима оптимизация кормления птицы с целью получения максимального количества продукции при наименьших затратах [1]. Один из способов решения этой задачи – применение природных биостимуляторов и адаптогенов из растительного сырья и лекарственных растений¹.

Родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.), или золотой корень, является источником витаминов, микроэлементов и различных метаболитов [2]. Биологически активные вещества

корней и корневищ золотого корня обладают антиоксидантными, адаптогенными, иммуностропными, гепатопротекторными, противовоспалительными и другими свойствами [3–5]. В качестве фитодобавки препараты корней и корневищ золотого корня применяют птице в дозировке 1 г на 1 кг комбикорма².

Наибольшую адаптогенную активность имеют два соединения родиолы розовой: п-тирозол и его глюкозид – салидрозид³.

¹Вахрушева Т.И. Опыт применения адаптогенов растительного происхождения в промышленном птицеводстве // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: материалы 68-й междунар. науч.-практ. конф. Рязань: Изд-во Рязанского ГАУ, 2017. Ч. 3. С. 37–41.

²Вахрушева Т.И. Морфометрические показатели тимуса у цыплят в возрасте 1–40 суток под влиянием Родиолы розовой // Проблемы современной аграрной науки: Материалы междунар. заоч. науч. конф. / отв. за вып. А.А. Кондрашев, Ж.Н. Шмелева. 2015. С. 35–37.

³Куркин В.А. Родиола розовая (Золотой корень): стандартизация и создание лекарственных препаратов: монография. Самара: ООО «Офорт», 2015. 240 с.

Синтетический адаптоген ауrol – аналог растительного адаптогена п-тирозол⁴. Применение препарата в птицеводстве показало положительный эффект, однако используют его только в водном растворе из расчета 1 мг/кг живой массы, что не всегда возможно в технологической линии [6].

Из отходов лесопиления и переработки биомассы лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) выделен природный полимер (класс полисахариды) арабиногалактан, состоящий из галактозы и арабинозы. Арабиногалактан имеет низкую токсичность, проявляет иммуномодулирующую, антиоксидантную и пребиотическую активность, положительно влияет на сохранность, продуктивность и воспроизводительные качества птицы в дозировке от 3,6 до 6,0 мг/кг живой массы⁵ [7, 8]. Известно, что арабиногалактан обладает свойством связывать различные гидрофобные, биологически активные молекулы, что приводит к значительному увеличению их растворимости, биодоступности и стабильности при хранении [9].

При переработке орехов кедровой сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) скорлупа идет в отход, однако положительный эффект ее применения в кормлении птицы широко известен при включении в состав рациона до 3,0 мас.% [10]. В скорлупе кедрового ореха содержатся экстрактивные вещества, обладающие дубильными, антиоксидантными, противовоспалительными, дезинфицирующими свойствами [11].

Входящие в состав хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) фенольные соединения, карбоновые кислоты, полипенолы, терпеноиды, витамины, минеральные вещества и другие компоненты обладают антимикробным, иммуностимулирующим, антиоксидантным, противовоспалительным, кроветворным действием, положительно влияют на продуктивность птицы и конверсию корма [12]. Муку хвои сосны рекомендуется вво-

дить в рацион птицы до 3%⁶.

Исходя из того, что все нутриенты, входящие в состав растительных компонентов безвредны, находятся в неантагонистических сочетаниях, имеют сходное воздействие на организм птицы и ранее не применялись в рационах перепелов, нами разработаны комплексные фитобиодобавки следующего состава:

– водный раствор ауrolа и арабиногалактана;

– биодобавка № 1 – порошок из подземной части *R. rosea* L. и арабиногалактан;

– биодобавки № 2 и № 2а – порошок подземной части *R. rosea* L., порошок скорлупы кедровых орехов *Pinus sibirica* Du Tour, мука из хвои *Pinus sylvestris* L. и арабиногалактана.

Цель исследования – определить оптимальный вариант комплексной биодобавки фитогенного происхождения и с синтетическим адаптогеном ауrolом в комплексе с арабиногалактаном.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Опыт продолжительностью 103 дня проведен в 2021 г. в условиях физиологического двора СФНЦА РАН на перепелах японской породы, сформированных в 5-суточном возрасте в четыре группы-аналоги по 70 гол. в каждой (см. табл. 1).

Межгрупповые различия заключались в следующем: перепела контрольной группы получали основной рацион (ОР); в 1-й опытной – ОР и водный раствор ауrolа с арабиногалактаном в равных количествах (по 1 г/л воды); во 2-й опытной к 99,9% ОР добавляли 0,1% биодобавки № 1, состоящей из порошка корня родиолы розовой (93,0 мас.%) и арабиногалактана (7,0 мас.%); в 3-й опытной до 34-дневного возраста молодняка рацион состоял из 98,4% ОР и 1,6% биодобавки № 2 (порошок корня родиолы розовой (1,0 г) + хвойная мука сосны (5,0 г) + мука из скор-

⁴Пат. № RU 2063395 С 07 С 39/06, С 07 С 37/52. Способ получения 4-(гидроксипалкил)фенолов / А.П. Крысин, Т.Г. Егорова, В.С. Кобрин; заявл. 18.07.1994, опубл. 18.07.1996, Бюл. № 19.

⁵Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А. Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // Химия растительного сырья. 2003. № 1. С. 27–37.

⁶Артемьев В.И., Елисеев О.А. Приусадебное птицеводство; изд. 2-е, допол. и перераб. Л.: Агропромиздат, 1988. 96 с.

Табл. 1. Схема опыта ($n = 70$)

Table 1. Experience scheme ($n = 70$)

Группа	Условия кормления
Контрольная	ОР*
Опытная:	
1-я	ОР + с водой ауrol + арабиногалактан
2-я	ОР (99,9%) + биодобавка № 1 (0,1%) (порошок корня родиолы розовой и арабиногалактан)
3-я	Первый период – ОР (98,4%) + биодобавка № 2 (1,6%); второй период – ОР (98,3%) + биодобавка № 2а (1,7%)

*ОР – основной рацион, сбалансированный по нормам ВНИИТИП (2003 г.) с учетом возрастных потребностей перепелов⁷.

лупы кедровых орехов (10,0 г)), в следующий период – 98,3% ОР и 1,7% биодобавки № 2а (порошок корня родиолы розовой (2,0 г) + хвойная мука сосны (5,0 г) + мука из скорлупы кедровых орехов (10,0 г)).

Исследования проводили в соответствии с требованиями общепринятой методики⁸. Осуществляли ежедневный учет расхода кормов и добавок, мониторинг поведения и состояния здоровья перепелов. Индивидуальные контрольные взвешивания птицы проводили при постановке на опыт (в возрасте 5 дней), а также в возрасте 34 и 64 дня.

Изучено влияние биодобавок на показатели продуктивности и сохранности молодняка перепелов до 64-дневного возраста, проведено взятие проб крови и контрольный забой самцов перепелов (по 3 гол. из каждой группы) с отбором проб мышечной ткани на биохимические исследования.

Исследование биохимического состава проб сыворотки крови перепелов и биохимического состава проб мышечной ткани проведено классическими методами с использованием современных биохимических анализаторов.

Научный эксперимент продолжен согласно схеме опыта на оставшемся поголовье перепелов с целью изучения яичной продуктивности до 107-дневного возраста.

Ауrol (n-тирозол) [2-(4-гидроксифенил) этиловый спирт] – аналог растительного адаптогена *R. rosea* L. – синтетический препарат, представляет собой кристаллический порошок от белого до светло-желтого цвета со слабым запахом фенола (синтезирован в Институте органической химии СО РАН).

Арабиногалактан (лавинол) – пищевая добавка, получена из комля древесины лиственницы Даурской [*Larix dahurica* Laws. (*L. dahurica* Turcz. et Trautv., *L. gmelinii* (Rupr.) Rupr.)], изготовитель ЗАО «Аметис» (Благовещенск). Представляет собой кристаллический порошок белого, бледно-серого или бледно-кремового цвета с легким хвойным запахом. Порошок корня родиолы розовой и хвои сосны предоставлен сторонней организацией.

Скорлупу кедровых орехов сосны сибирской просушивали, измельчали на молотковой дробилке, затем отделяли фракции до 1 мм в условиях физиологического двора.

В процессе проведения исследований определяли следующие зоотехнические показатели перепелов: прирост живой массы, затраты корма, сохранность, убойный выход тушки, яйценоскость, массу яиц.

Экономическую эффективность (условный экономический эффект) рассчитывали по разнице в затратах на приобретение кормовых средств и препаратов, количеству затрат корма на единицу продукции с учетом цены ее реализации.

Полученный в ходе эксперимента цифровой материал обработан методом вариационной статистики на персональном компьютере с помощью программного обеспечения Microsoft Excel и по Н.А. Плохинскому (1970 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Включение в основной рацион или выпаивание с водой биодобавок опытным перепелам при выращивании оказало положительное влияние на сохранность и интенсивность

⁷Рекомендации по кормлению сельскохозяйственной птицы / под общ. ред. В.И. Фисинина, Ш.А. Имангулова, И.А. Егорова, Т.М. Околеновой. Сергиев Посад: РАСХН, МНТЦ «Племптица», ВНИТИП, 2003. 142 с.

⁸Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы / под общ. ред. В.И. Фисинина и Ш.А. Имангулова. Сергиев Посад: РАСХН, МНТЦ «Племптица», ВНИТИП, 2000. 33 с.

Табл. 2. Показатели сохранности, интенсивности роста, расхода корма на прирост перепелят за период выращивания**Table 2.** Indices of safety, growth intensity, feed consumption per gain of quails during the growing period

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Число голов:				
в начале опыта	70	70	70	70
в конце опыта	62	63	66	65
Сохранность, %	88,6	90,0	94,3	92,9
Живая масса, г:				
при постановке на опыт	17,98 ± 0,41	17,97 ± 0,32	17,75 ± 0,28	18,50 ± 0,31
в 34 дня	76,64 ± 1,94	76,64 ± 1,37	85,65 ± 2,04**	85,93 ± 1,80**
в 64 дня	178,42 ± 3,16	186,63 ± 1,76	191,98 ± 1,33**	198,25 ± 1,99**
Среднесуточный прирост живой массы в возрасте, г:				
5–34 дня	1,97 ± 0,14	1,96 ± 0,12	2,26 ± 0,13**	2,25 ± 0,12**
34–64 дня	3,39 ± 0,22	3,67 ± 0,17	3,54 ± 0,11	3,74 ± 0,18*
5–64 дня	2,67 ± 0,16	2,81 ± 0,21	2,90 ± 0,09*	3,00 ± 0,16*
Среднесуточное потребление корма, г:				
за 5–34 дня	2,60	2,53	2,45	2,49
за 35–64 дня	42,15	37,25	33,38	32,36
за 5–64 дня	34,10	31,25	28,95	28,62
Затраты корма на 1 г прироста, г	12,77	11,12	9,98	9,54

Примечание. Здесь и в табл. 3–7: разница достоверна в сравнении с контрольной группой:

* $p \leq 0,05$,

** $p \leq 0,01$,

*** $p \leq 0,001$.

роста птицы (см. табл. 2). Сохранность перепелят в опытных группах составила от 90,0 до 94,3% (в контроле 88,6%). Лучшие показатели отмечены во 2-й опытной группе.

За первый месяц выращивания перепелята 1-й опытной группы по живой массе находились на одном уровне с контрольной (по 76,64 г), во 2-й и 3-й опытных превосходили контроль и достигли 85,65 и 85,93 г ($p \leq 0,01$). За второй месяц лучшие результаты отмечены также у перепелят 2-й и 3-й опытных групп – 191,98 и 198,25 г ($p \leq 0,01$), больше на 7,6 и 11,1%, чем в контрольной группе (178,42 г). За учетный период среднесуточные приросты перепелят, получавших с кормом биодобавки № 1 и № 2–а, были выше молодняка контрольной группы на 8,6 и 12,4% и составили 2,90 и 3,00 г ($p \leq 0,05$).

За первый месяц исследований потребление корма перепелятами опытных групп

было ниже контроля от 2,7 до 5,8%, за второй месяц – от 11,6 до 23,2%. В среднем за период выращивания потребление корма перепелятами опытных групп было ниже от 8,1 до 16,1%. Более экономные затраты корма на 1 г прироста живой массы по сравнению с контролем отмечены у перепелят 2-й и 3-й опытных групп.

Представитель пара-замещенных гидроксиалкилфенолов – п-тирозол (2-(4-гидроксифенил) этиловый спирт), на основе которого создан отечественный препарат аурол, обладает не только выраженным стресс-протекторным эффектом, но и центральным стимулирующим действием. Известно, что основные действующие вещества родиолы розовой – фенолгликозиды родиолозид, салидрозид и розавин применяют в качестве компонентов функционального питания⁹. Фенолы и флавоноиды не только уменьшают

⁹Николаев Е.В., Пинчукова Е.В., Белик С.Н. Функциональные свойства Родиолы // Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств: материалы науч.-практ. конф. Пос. Персиановский: Изд-во Донского ГАУ, 2018. С. 121–127.

влияние патогенов, но и улучшают использование питательных веществ в желудочно-кишечном тракте [13]. По-видимому, комплекс биологически активных соединений родиолы розовой оказал более активное влияние на усвоение питательных веществ рациона, что выразилось в снижении затрат корма на прирост живой массы 2-й и 3-й опытных групп перепелов соответственно на 21,8 и 25,3% по сравнению с контролем и на 10,3 и 14,2% – с 1-й опытной группой.

Аналогичное влияние на оплату корма птицей оказывает и включение в состав рационов арабиногалактана [14]. В нашем исследовании показано положительное влияние комплекса природных фитодобавок с арабиногалактаном. Результаты контрольного убоя птицы показали, что средняя живая масса самцов перепелов 2-месячного возраста в опытных группах была выше контрольной группы на 6,5–10,1% и составила от 183,2 до 189,3 г ($p \leq 0,05$), масса потрошеной тушки

достигла 133,0–140,3 г ($p \leq 0,01$), что больше на 6,7–12,5% соответственно. Однако достоверная разница с контролем по убойному выходу тушки на 0,9–1,5% ($p \leq 0,01$) отмечена лишь во 2-й и 3-й опытных группах перепелов (см. табл. 3).

По основным питательным компонентам мяса-фарша (мышечной ткани) перепелов наиболее видимые изменения отмечены в пробах 3-й опытной группы: произошло снижение уровня белка на 0,52% ($p \leq 0,05$), повышение жировой ткани на 3,21% ($p \leq 0,05$) и снижение зольного остатка на 0,26% ($p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой. В 1-й опытной группе достоверно повышен уровень золы в мясе-фарше на 0,42% ($p \leq 0,05$).

Применение фитодобавок в рационах опытных перепелов оказало разное влияние на биохимический состав крови (см. табл. 4). Уровень белка в сыворотке крови перепелов

Табл. 3. Результаты убоя и качественные показатели мяса-фарша перепелов ($n = 3$)

Table 3. Results of slaughter and quality indicators of minced meat of quails ($n = 3$)

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Предубойная живая масса, г	172,0 ± 0,46	183,2 ± 0,46*	184,3 ± 0,67*	189,3 ± 1,57*
Масса потрошеной тушки, г	124,7 ± 0,86	133,0 ± 0,71**	135,3 ± 0,82**	140,3 ± 1,70**
Убойный выход тушки, %	72,5 ± 0,47	72,6 ± 0,29	73,4 ± 0,18**	74,0 ± 0,32**
Содержание в мясе-фарше, %:				
сухого вещества	33,36 ± 0,67	32,76 ± 0,42	31,93 ± 0,39	35,68 ± 1,04
белка	19,24 ± 0,002	19,31 ± 0,21	19,32 ± 0,20	18,72 ± 0,16*
жира	10,64 ± 0,66	9,64 ± 0,67	9,21 ± 0,75	13,85 ± 1,17*
золы	3,38 ± 0,05	3,80 ± 0,07*	3,41 ± 0,20	3,12 ± 0,05**
кальция, г	1,39 ± 0,24	1,46 ± 0,014	1,24 ± 0,26	1,41 ± 0,23

Табл. 4. Биохимические показатели сыворотки крови перепелов

Table 4. Biochemical parameters of blood serum of quails

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Общий белок, г/л	30,92 ± 0,99	29,98 ± 0,70	41,15 ± 0,59**	33,15 ± 0,87
Альбумин, г/л	15,40 ± 0,89	16,55 ± 0,30	20,00 ± 0,48	16,63 ± 1,49
Глобулин, г/л	15,53 ± 0,34	13,43 ± 0,84	21,14 ± 0,59**	16,52 ± 2,03
АСТ, ед./л	181,68 ± 9,95	188,61 ± 20,76	112,12 ± 9,59	117,79 ± 7,85
АЛТ, ед./л	37,44 ± 3,73	36,52 ± 3,37	31,35 ± 1,62	28,89 ± 1,27
Креатинин, мкмоль/л	31,33 ± 1,43	35,12 ± 4,88	30,41 ± 0,36	28,16 ± 1,69

2-й опытной группы был выше на 10,27 г/л ($p \leq 0,01$) по сравнению с контролем, на 11,17 г/л – с 1-й опытной ($p \leq 0,01$) и на 8,00 г/л ($p \leq 0,01$) – с 3-й опытной.

Повышение уровня глобулина на 5,61 г/л ($p \leq 0,01$) у перепелов 2-й опытной группы по сравнению с контрольной, на 7,71 г/л – с 1-й опытной и на 4,62 г/л – с 3-й опытной свидетельствует об усилении их биологического статуса. Согласно результатам других исследователей, включение в рацион птицы родиолы розовой способствует увеличению содержания в крови глобулина и глобулиновых фракций, что позволяет судить о повышенном влиянии на обмен веществ¹⁰.

Маркеры состояния печени и почек – аминотрансферазы (АЛТ и АСТ) и креатинин – были в пределах физиологических показателей, что указывает на отсутствие токсичности изучаемых комплексов фитогенного происхождения и их заменителя (аурола).

В период проведения опыта на молодняке перепелов стоимость комбикорма (ОР) за первый период в контрольной группе составила 26,25 р./кг; с учетом затрат на добавку в 1-й опытной стоимость равнялась 26,84 р./кг, во 2-й опытной – 26,95, в 3-й опытной – 36,82 р./кг. Во второй период выращивания стоимость 1 кг корма составила в контрольной группе 21,92 р./кг, в 1-й опытной – 22,63, во 2-й опытной – 23,11, в 3-й опытной – 32,87 р./кг. Стоимость реализации 1 кг мяса перепелов – 536 р.

Экономический эффект рассчитан по сумме затрат на корма и добавки и разницы со стоимостью полученной продукции. За период выращивания условный экономический эффект на 1 гол. был выше в 1-й опытной группе на 6,74 р., во 2-й опытной – на 11,65 р. В 3-й опытной группе он оказался отрицательным из-за высокой стоимости добавок по сравнению с контролем (см. табл. 5).

Для изучения яйценоскости несушек перепелов опыт продолжен до 107-дневного возраста (при тех же условиях содержания и кормления).

Несушки перепелов, получавшие биодобавки, к 64-дневному возрасту в 1-й опытной группе имели живую массу выше контрольной группы на 9,58 г ($p \leq 0,05$), или 5,3%, во 2-й опытной – на 13,56 г ($p \leq 0,001$), или 7,7%, в 3-й опытной – на 21,36 г ($p \leq 0,001$), или 11,9%.

Проброс яиц несушками 2-й и 3-й опытных групп начался в возрасте 63 дня, в 1-й опытной и контрольной – 65. Больше всего яиц за 43 дня учета (в среднем на 1 гол.) в конце опыта получено от несушек 2-й опытной группы – 28,80 шт., или больше, чем в контрольной, на 31,7%, 3-й опытной – 26,52 шт., больше контрольной на 21,3% (см. табл. 6).

Положительное влияние на яйценоскость несушек перепелов, качество и массу яиц отмечено при включении в их рационы родиолы розовой и арабиногалактана, что согласуется с данными других исследователей [15].

Табл. 5. Экономическая эффективность выращивания молодняка перепелов при убое в возрасте 64 дня

Table 5. Economic efficiency of growing young quails at slaughter at the age of 64 days

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Стоимость кормов с учетом биодобавок, затраченных на 1 гол., р.	48,88	46,59	42,91	60,23
Стоимость биодобавок, % от стоимости кормов	–	3,14	5,17	34,38
Стоимость продукции, р.	66,84	71,29	72,52	75,20
Экономический эффект, р.	17,96	24,70	29,61	14,97
± к контрольной группе, р.	–	+ 6,74	+11,65	–2,99

¹⁰Вахрушева Т.И. Биохимические и морфологические показатели крови цыплят под влиянием шротов левзеи, родиолы розовой и энтерофара // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 6. С. 206–210.

Табл. 6. Яичная продуктивность несушек перепелов

Table 6. Egg productivity of quail laying hens

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Число несушек, гол.	42	37	30	27
Живая масса несушки в возрасте, г				
в 34 дня	77,51 ± 2,67	78,34 ± 1,35	85,24 ± 2,74*	86,32 ± 2,78*
в 64 дня	179,57 ± 2,72	189,05 ± 2,73*	193,13 ± 2,11***	200,93 ± 2,91***
Получено яиц, шт.				
всего	918	839	864	716
на несушку	21,86	22,68	28,80	26,52
Интенсивность яйцекладки, %	52,02	52,72	66,98	61,67
Средняя масса яиц, г	11,15 ± 0,15	11,63 ± 0,13*	11,78 ± 0,21***	11,52 ± 0,14*
Получено яичной массы, кг	0,244	0,264	0,339	0,306
Затраты корма, кг:				
всего	1,156	1,547	1,605	1,734
на 10 яиц	0,529	0,682	0,557	0,653

Средняя масса яиц и яйценоскость – основные показатели продуктивности несушек перепелов. По массе одного яйца молодые перепелки 2-й опытной группы превосходили контрольную группу на 0,63 г ($p \leq 0,001$), или 5,7 %, 1-ю опытную – на 0,15 г ($p \leq 0,05$), или 1,3%, 3-ю опытную – на 0,25 г ($p \leq 0,05$), или 2,3%, по интенсивности яйценоскости – на 14,96; 14,26 и 5,31% соответственно.

Затраты корма на производство 10 яиц в опытных группах были больше по сравне-

нию с контролем: в 1-й на – 28,9%, во 2-й – на 5,3, в 3-й – на 23,4%. Однако эти показатели компенсировались получением от несушек перепелов более высокой яйцемассы по отношению к контролю.

Биохимический состав белка яиц от несушек 1-й опытной группы отличался снижением сухого вещества, жира и золы, во 2-й опытной был на одном уровне с контролем (кроме снижения зольного остатка), в 3-й опытной группе отмечено повышение уровня жира (см. табл. 7).

Табл. 7. Биохимические показатели яиц несушек перепелов, %

Table 7. Biochemical parameters of quail laying eggs, %

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Содержание в белке				
Сухое вещество	13,18 ± 0,14	12,16 ± 0,04*	13,14 ± 0,08	12,99 ± 0,08
Белок	12,32 ± 0,14	12,04 ± 0,31	12,33 ± 0,08	12,52 ± 0,11
Жир	0,097 ± 0,004	0,083 ± 0,003*	0,103 ± 0,002	0,113 ± 0,004 *
Зола	0,733 ± 0,004	0,710 ± 0,007*	0,713 ± 0,01*	0,693 ± 0,029*
Содержание в желтке				
Сухое вещество	38,96 ± 0,28	38,72 ± 0,45	39,12 ± 0,34	39,37 ± 0,45
Белок	18,94 ± 2,20	19,13 ± 1,48	19,26 ± 2,13	19,14 ± 3,38
Жир	19,25 ± 0,40	19,01 ± 4,01	19,22 ± 1,88	19,25 ± 3,45
Зола	0,77 ± 1,23	0,66 ± 0,06	0,68 ± 0,09	0,67 ± 0,06
Кальций	0,32 ± 0,09	0,35 ± 0,12	0,32 ± 0,09	0,31 ± 0,08
Содержание в скорлупе				
Сухое вещество	59,20 ± 3,27	55,57 ± 12,10	54,39 ± 12,30	55,27 ± 15,16
Зола	45,34 ± 2,60	42,29 ± 6,29	42,62 ± 3,44	42,61 ± 5,36
Кальций	19,56 ± 7,11	18,13 ± 9,95	20,24 ± 10,47	12,85 ± 9,40
Фосфор	0,37 ± 0,08	0,34 ± 0,16	0,35 ± 0,12	0,34 ± 0,12

Табл. 8. Экономическая эффективность производства яиц в среднем на одну несушку перепелов
Table 8. Calculation of the economic efficiency of egg production on average per quail laying hen

Показатель	Группа			
	контрольная	опытная		
		1-я	2-я	3-я
Реализационная стоимость пищевых яиц, р.	96,18	99,79	126,72	116,69
Стоимость корма с учетом биодобавок, р.	25,34	35,01	37,09	57,00
Экономический эффект, р.	70,84	64,78	89,63	59,69
% к контрольной группе	—	–6,0 6	+18,79	–11,14

Состав желтка и скорлупы яиц был во всех группах без достоверных различий.

Включение биодобавок в рационы опытных групп не оказало влияния на толщину скорлупы яиц, колебания во всех группах находились в пределах 0,21–0,22 мм.

Экономический эффект рассчитан аналогично первому периоду опыта. Он получен лишь от несушек 2-й опытной группы – прибыли на одну птицу на 18,79% больше, чем от несушек контрольной, при стоимости 10 яиц 44 р. на период опыта (см. табл. 8).

ВЫВОДЫ

1. Включение в состав рациона 2-й и 3-й опытных групп молодняка перепелов комплексных фитогенных биодобавок № 1 и 2 в период их выращивания с 5 до 64-дневного возраста способствовало снижению потребления корма на 21,8 и 25,1%, получению живой массы 191,98 и 198,25 г (в контрольной группе – 178,42 г), или больше на 7,6 и 11,1%, среднесуточного прироста живой массы 2,9 и 3,0 г (в контрольной группе – 2,67 г), или выше соответственно на 8,6 и 12,4 г.

2. Убойный выход тушки от самцов перепелов в среднем на 1 гол. 2-й и 3-й опытных групп был выше, чем в контрольной группе, на 0,9 и 1,5%.

3. Лучшие показатели по сохранности перепелов получены во 2-й опытной группе – 94,3%. У перепелов 2-й опытной группы на усиление биологического статуса при включении в состав рациона биодобавки № 1 указывает повышение уровня белка в крови на 10,27 г/л, глобулина на 5,51 г/л по сравнению с контрольной группой, на 11,17 и

7,71 г/л – с 1-й опытной, на 8,00 и 4,62 г/л – с 3-й опытной соответственно.

4. На показатели продуктивности молодняка перепелов 1-й опытной группы, получавших водный раствор арабиногалактана с аурулом, достоверного влияния не выявлено.

5. Экономически выгодной для молодняка перепелов была фитогенная биодобавка № 1 – условная прибыль на 1 гол. выше контрольной группы на 11,65 р.

6. Яйценоскость несушек перепелов 2-й и 3-й опытных групп началась на 2 дня раньше, чем в контрольной и 1-й опытной группах. Применение биодобавки № 1 способствовало повышению массы одного яйца по сравнению с контролем до 11,78 г (на 5,7%), по выходу яйцемассы на одну несушку на 95 г, интенсивности яйценоскости на 14,78%.

7. Самое низкое влияние на интенсивность яйцекладки и выход яичной массы несушками перепелов среди опытных групп оказало применение водного раствора арабиногалактана и аурула (1-й опытная группа).

8. Экономически оправдано применение молодым несушкам перепелов фитогенной биодобавки № 1, состоящей из порошка подземной части родиолы розовой и арабиногалактана, в количестве 0,1% от массы комбикорма, способствовавшей повышению условной прибыли на 18,95% на 1 гол. от уровня контрольной группы.

9. Отрицательный условный экономический эффект получен из-за низких зоотехнических показателей в 1-й опытной группе и по причине высокой стоимости растительных компонентов в 3-й опытной.

10. Применение природных фитокомплексов биодобавок в сочетании с арабиногалактаном перепелам показывает лучшие результаты в сравнении с синтетическим препаратом Ауrol.

Рекомендации производству

Для внедрения в кормопроизводство при выращивании и при продуктивном использовании перепелов рекомендуем биодобавку № 1, состоящую на 93,0% из подземной части родиолы розовой и 7,0% арабиногалактана с включением 0,1% от массы комбикорма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева О.Н., Меднова В.В., Хорошилова Т.И., Жариков А.Ю. Научные основы оптимизации условий содержания сельскохозяйственных животных и птицы // Научный журнал молодых ученых. 2020. № 3 (20). С. 23–32.
2. Polumackanycz M., Konieczynski P., Orhan I.E., Abaci N., Viapiana A., Carradori S., Mocan A. Chemical Composition, Antioxidant and Anti-Enzymatic Activity of Golden Root (*Rhodiola rosea* L.) Commercial Samples // Antioxidants (Basel). 2022. Vol. 11. Is. 5. P. 919. DOI: 10.3390/antiox11050919.
3. Olennikov D., Chirikova N.K., Vasilieva A.G., Fedorov I.A. LC-MS Profile, Gastrointestinal and Gut Microbiota Stability and Antioxidant Activity of *Rhodiola rosea* Herb Metabolites: A Comparative Study with Subterranean Organs // Antioxidants. 2020. Vol. 9. Is. 6. P. 526. DOI: 10.3390/antiox9060526.
4. Шур Ю.В., Шур В.Ю., Самотруева М.А. Некоторые механизмы иммуотропного и адаптогенного действия фитопрепаратов // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2019. Т. 17. № 4. С. 19–29. DOI: 10.17816/RCF17419-29.
5. Babich O., Sukhikh S., Prosekov A., Asyagina L., Ivanova S. Medicinal Plants to Strengthen Immunity during a Pandemic // Pharmaceuticals (Basel). 2020. Vol. 13. Is. 10. P. 313. DOI: 10.3390/ph13100313.
6. Крысин А.П., Солошенко В.А., Юшков Ю.Г., Донченко Н.А., Мерзлякова О.Г. Снижение смертности на всех этапах жизни животных и получение продуктивного долголетия с использованием ауrolа (п-тирозол) // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. Т. 28. № 2. С. 171–179. DOI: 10.15372/KhUR2020216.
7. Fomichev Y.P., Ernst L.K. The concept of «One Health» and the potential use natural biologically active substances and micronutrients – Taxifolin, Arabinogalactan and microalgae *Arthrospira Platences* in organic livestock production // Journal of Agriculture and Environment. 2019. Vol. 1. Is. 9. DOI: 10.23649/jae.2019.1.9.5.
8. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Komarova Z.B., Tkacheva I.V., Krotova O.E., Struk A.N., Friesen V.G., Nozhnik D.N., Ivanov S.M., Friesen D.V., Rudkovskaya A.V. The effect of biological supplements of natural origin on metabolism of parent flock hens // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2019. Vol. 11. Is. 4. P. 1629–1632.
9. Glazachev Y.I., Schlotgauer A.A., Timoshnikov V.A., Kononova P.A., Selyutina O.Y., Shelepova E.A., Zelikman M.V., Khvostov M.V., Polyakov N.E. Effect of Glycyrrhizic Acid and Arabinogalactan on the Membrane Potential of Rat Thymocytes Studied by Potential Sensitive Fluorescent Probe // Journal of Membrane Biology. 2020. Vol. 253 (4). P. 343–356. DOI: 10.1007/s00232-020-00132-3.
10. Васильева Н.В., Цой З.В. Использование нетрадиционных кормовых добавок в рационах ремонтного молодняка кур-несушек в условиях Дальневосточного региона // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 2 (54). С. 61–64. DOI: 10.24411/1999-6837-2020-12023.
11. Queirós C.S., Cardoso S., Lourenço A., Ferreira J.P.A., Miranda I., Lourenço M., Pereira H. Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition // Biomass Conversion and Biorefinery. 2020. Vol. 10. Is. 10. DOI: 10.1007/s13399-019-00424-2.
12. Иванова О.В., Любимова Ю.Г., Терещенко В.А., Иванов Е.А. Изучение элементного состава водных экстрактов хвойных растений Сибири // Химия растительного сырья. 2021. № 3. С. 181–190. DOI: 10.14258/jcprm.2021038714.
13. Panossian A. Understanding adaptogenic activity: specificity of the pharmacological action of adaptogens and other phytochemicals // Annals of the New York Academy of Sciences.

2017. Vol. 1401. Is. 1. P. 49–64. DOI: 10.1111/nyas.13399.
14. Комарова З.Б., Мосолова Н.И., Струк А.Н., Ткачева И.В., Кротова О.Е., Ножник Д.Н., Фризен Д.В., Рудковская А.В., Сергеев В.Н. Биоконверсия корма у кур родительского стада кросса «Хайсекс коричневый» под воздействием премиксов с дигидрокверцетином и арабиногалактаном // Аграрно-пищевые инновации. 2019. № 1. С. 53–59. DOI: 10.31208/2618-7353-2019-5-53-59.
15. Горлов И.Ф., Комарова З.Б., Кротова О.Е., Ткачева И.А., Мосолова Н.И., Остронков В.С., Ножник Д.Н., Фризен Д.В., Рудковская А.В. Биологически активные добавки из листьев даурской в рационах кур родительского стада кросса «Хайсекс коричневый» // Птица и птицепродукты. 2019. № 2. С. 37–40. DOI: 10.30975/2073-4999-2019-21-2-37-40.
- ## REFERENCES
1. Andreeva O.N., Mednova V.V., Khoroshilova T.I., Zharikov A.Yu. Scientific bases for optimizing the conditions for keeping agricultural animals and poultry. *Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh = Scientific Journal of Young Scientists*, 2020, vol. 3 (20), pp. 23–32. (In Russian).
2. Polumackanycz M., Konieczynski P., Orhan I.E., Abaci N., Viapian A., Carradori S., Mocan A., Polumackanycz M. Chemical Composition, Antioxidant and Anti-Enzymatic Activity of Golden Root (*Rhodiola rosea* L.) Commercial Samples. *Antioxidants (Basel)*, 2022, vol. 11, is. 5, p. 919. DOI: 10.3390/antiox11050919.
3. Olennikov D., Chirikova N.K., Vasilieva A.G., Fedorov I.A. LC-MS Profile, Gastrointestinal and Gut Microbiota Stability and Antioxidant Activity of *Rhodiola rosea* Herb Metabolites: A Comparative Study with Subterranean Organs. *Antioxidants*, 2020, vol. 9, is. 6, p. 526. DOI: 10.3390/antiox9060526.
4. Shur Yu.V., Shur V.Yu., Samotrueva M.A. Some mechanisms of immunotropic and adaptogenic action of phytopreparations. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii = Reviews on clinical pharmacology and drug therapy*, 2019, vol. 17, no. 4, pp. 19–29. (In Russian). DOI: 10.17816/RCF17419-29.
5. Babich O., Sukhikh S., Prosekov A., Asyakina L., Ivanova S. Medicinal Plants to Strengthen Immunity during a Pandemic. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2020, vol. 13, no. 10, p. 313. DOI: 10.3390/ph13100313.
6. Krysin A.P., Soloshenko V.A., Yushkov Yu.G., Donchenko N.A., Merzlyakova O.G. Reduction in mortality at all stages of animal life and the ways to achieve productive longevity using auroclonolide (n-tyrosol). *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 171–179. (In Russian). DOI: 10.15372/KhUR2020216.
7. Fomichev Y.P., Ernst L.K. The concept of “One Health” and the potential use natural biologically active substances and micronutrients – Taxifolin, Arabinogalactan and microalgae *Arthrospira Platensis* in organic livestock production. *Journal of Agriculture and Environment*, 2019, vol. 1, is. 9. DOI: 10.23649/jae.2019.1.9.5.
8. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Komarova Z.B., Tkacheva I.V., Krotova O.E., Struk A.N., Friesen V.G., Nozhnik D.N., Ivanov S.M., Friesen D.V., Rudkovskaya A.V. The effect of biological supplements of natural origin on metabolism of parent flock hens. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2019, vol. 11, is. 4, pp. 1629–1632.
9. Glazachev Y.I., Schlotgauer A.A., Timoshnikov V.A., Kononova P.A., Selyutina O.Y., Shelepova E.A., Zelikman M.V., Khvostov M.V., Polyakov N.E. Effect of Glycyrrhizic Acid and Arabinogalactan on the Membrane Potential of Rat Thymocytes Studied by Potential Sensitive Fluorescent Probe. *Journal of Membrane Biology*, 2020, vol. 253 (4), pp. 343–356. DOI: 10.1007/s00232-020-00132-3.
10. Vasilyeva N.V., Tsoi Z.V. Use of nontraditional feed additives in the diets of the replacement chicks (laying type) in the climate of the Far East. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik = Far East Agrarian Bulletin*, 2020, no 2 (54), pp. 61–64. (In Russian). DOI: 10.24411/1999-6837-2020-12023.
11. Queirós C.S., Cardoso S., Lourenço A., Ferreira J.P.A., Miranda I., Lourenco M., Pereira H. Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, vol. 10, is. 10. DOI: 10.1007/s13399-019-00424-2.
12. Ivanova O.V., Lyubimova Yu.G., Tereshchenko V.A., Ivanov E.A. Study of the elemental composition of water extracts Siberian conifers. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of*

- plant raw material*, 2021, vol. 3, pp. 181–190. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2021038714.
13. Panossian A. Understanding adaptogenic activity: specificity of the pharmacological action of adaptogens and other phytochemicals. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2017, vol. 1401, is. 1, pp. 49–64. DOI: 10.1111/nyas.13399.
14. Komarova Z.B., Mosolova N.I., Struk A.N., Tkacheva I.V., Krotova O.E., Nozhnik D.N., Friesen D.V., Rudkovskaya A.V., Sergeev V.N. Feed stuff bioconversion of the parent flock “Hisex Brown” cross under exposure of premixes with dihydroquercetin and arabinogalactan. *Agrarno-pishchevye innovatsii = Agrarian and Food Innovations*, 2019, no. 1, pp. 53–59. (In Russian). DOI: 10.31208/2618-7353-2019-5-53-59.
15. Gorlov I.F., Komarova Z.B., Krotova O.E., Tkacheva I.A., Mosolova N.I., Ostronkov V.S., Nozhnik D.N., Friesen D.V., Rudkovskaya A.V. Dietary supplements from Dahurian larch in diets of hens of the parent flock of the Hisex brown. *Ptitsa i ptitseprodukty = Poultry and chicken products*, 2019, no. 2, pp. 37–40. (In Russian). DOI: 10.30975/2073-4999-2019-21-2-37-40.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Носенко Н.А.**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: nosenko_n@ngs.ru

Егоров С.В., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Магер С.Н., доктор биологических наук, профессор, руководитель научного направления, заведующий кафедрой

Связцова Ю.И., аспирант

AUTHOR INFORMATION

✉ **Natalia A. Nosenko**, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher; **address:** PO Box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: nosenko_n@ngs.ru

Sergey V. Egorov, Candidate of Science in Agriculture, Senior Researcher

Sergey N. Mager, Doctor of Science in Biology, Professor, Head of Research Group, Department Head

Yulia I. Sviyazova, Post-graduate Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 19.05.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 29.08.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОКЛИНИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ФИТОПРЕПАРАТА ПРИ ОСТРЫХ РАССТРОЙСТВАХ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ТЕЛЯТ

✉ Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л.

Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
Забайкальский край, Чита, Россия

✉ e-mail: luba.saveleva@mail.ru

Представлены результаты апробации фитопрепарата для профилактики и лечения желудочно-кишечных расстройств у телят. Методика доклинического испытания опытного образца фитопрепарата соответствовала ГОСТ Р 53434–2009 и руководству по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Для доклинического исследования опытного препарата по принципу аналогов сформированы две группы лабораторных животных (беспородные белые мыши) по 10 грызунов в каждой группе в возрасте 2–5 мес. В опытной группе животным выпаивали разработанный препарат (водные экстракты плодов шиповника – *surrexit coxis*, плодов черемухи – *cerasis fructus*, цветов ромашки – *pyrethri flores*, корневища амаранта – *amaranthus rhizomatis*). Доза составила 3 мл/сут на одно лабораторное животное в течение 10 дней. Рацион кормления не меняли (зерно, овощи, сено). Получены положительные данные о физиологических показателях (температура, пульс, дыхание, мочеиспускание, состояние фекалий, двигательная активность животных), которые соответствовали физиологическим нормам для белых мышей. Препарат не обладает токсичностью для организма животных (отсутствие токсической дистрофии в органах животных); уровень радиации был в пределах нормативного значения по цезию 137 (440 Бк/кг) и стронцию 90 (110 Бк/кг) соответственно; Ph составил 6,7 ед. Фитопрепарат является благоприятной средой для желудочно-кишечного тракта животных и обладает антибактериальным эффектом, достоверно повышает число лимфоцитов на 23,8%, гематокрита на 8,6%, гемоглобина на 40% ($p < 0,01$) в крови опытных животных. Фитопрепарат по классификации, принятой в настоящее время Всемирной организацией здравоохранения, можно отнести к группе малотоксичных веществ и по степени токсичности – к IV классу опасности (вещества малоопасные). Препарат рекомендован для клинических испытаний на молодняке крупного рогатого скота.

Ключевые слова: фитопрепарат, лабораторные животные, доклинические исследования, гематология, патоморфология

RESULTS OF PRECLINICAL TESTING OF AN EXPERIMENTAL PHYTOPREPARATION FOR ACUTE GASTROINTESTINAL DISORDERS IN CALVES

✉ Savelyeva L.N., Bondarchuk M.L.

Scientific Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia — Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Chita, Trans-Baikal Territory, Russia

✉ e-mail: luba.saveleva@mail.ru

The results of approbation of a phytopreparation for prevention and treatment of gastrointestinal disorders in calves are presented. The methodology of preclinical testing of the phytopreparation prototype was in accordance with GOST R 53434-2009 and guidelines for preclinical testing of medicines. Two groups of laboratory animals (mongrel white mice) with 10 rodents in each group aged 2-5 months were formed for preclinical study of the experimental drug according to the principle of analogs. The developed preparation (aqueous extracts of rosehip fruit – *surrexit coxis*, cherry fruit – *cerasis fructus*, chamomile flowers – *pyrethri flores*, amaranthus rootstock – *amaranthus rhizomatis*) was administered to the animals in the experimental group. The dose was 3 ml/day per laboratory animal for 10 days. The feeding ration remained unchanged (grain, vegetables, hay). Positive data on physiological indices (temperature, pulse, respiration, urination, fecal condition, motor activity of animals) were obtained, which corresponded to physiological norms for white mice. The preparation

has no toxicity for animal organism (absence of toxic dystrophy in animal organs); radiation level was within the normative value for cesium 137 (440 Bq/kg) and strontium 90 (110 Bq/kg), respectively; Ph was 6.7 units. The phytopreparation is a favorable environment for the gastrointestinal tract of animals and has an antibacterial effect, significantly increases the number of lymphocytes by 23.8%, hematocrit by 8.6%, hemoglobin by 40% ($p < 0.01$) in the blood of the experimental animals. According to the classification currently adopted by the World Health Organization, the phytopreparation can be attributed to the group of low-toxic substances and according to the degree of toxicity – to the IV class of hazard (substances of low hazard). The drug is recommended for clinical trials on young cattle.

Keywords: phytopreparation, laboratory animals, preclinical studies, hematology, pathomorphology

Для цитирования: Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л. Результаты доклинического испытания опытного фитопрепарата при острых расстройствах желудочно-кишечного тракта телят // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 80–86. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-9>

For citation: Savelyeva L.N., Bondarchuk M.L. Results of preclinical testing of experimental phytopreparation for acute gastrointestinal disorders in calves. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 80–86. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-9>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для мирового фармацевтического рынка характерна тенденция к применению лекарственных средств природного происхождения для профилактики и лечения различных заболеваний человека и животных, в том числе для болезней органов пищеварения (гастриты, энтериты различной этиологии) крупного рогатого скота. У практикующих ветеринарных врачей популярностью пользуются лекарственные средства на основе растительного сырья. Имеются данные по использованию комплексных лекарственных средств, полученных из компонентов растений, эффект которых связан с синергическим действием входящих в их состав биологически активных веществ [1–5].

Для проведения доклинических испытаний лекарственных веществ – изучения биологической и фармакологической активности препарата в исследованиях *in vitro* и *in vivo* – в мировой практике придерживаются требований системы GLP (Good Laboratory Practice) [2–5].

Важным критерием перед доклиническими испытаниями является принцип недопустимости носительства ряда патогенных и

условно-патогенных агентов инфекционной и инвазионной природы: вирусов, бактерий, паразитов. Во многих странах разработаны стандарты различных категорий качества животных по состоянию здоровья. Они включают перечень возбудителей, носительство которых исключается. Чем выше категория качества животного, тем больше перечень недопустимых агентов [6–8].

В связи с этим перед клиническими испытаниями новых разработанных препаратов, средств, БАВ важно подтвердить их безопасное влияние на организм животного и положительное воздействие на физиологический статус животных.

Цель исследований – изучить безопасность разработанного фитопрепарата природного происхождения на лабораторных животных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в лаборатории научно-исследовательского института ветеринарии Восточной Сибири – филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук с учетом разработанных правил¹.

¹Приказ Минздрава СССР «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных» за № 755 от 12.08.1977 г.

Опытный образец препарата представляет водный раствор коричневого цвета, в состав которого вошло фитосырье: плоды шиповника – *surrexit coxis*, плоды черемухи – *cerasis fructus*, цветы ромашки – *pyrethri flores*, корневище амаранта – *amaranthus rhizomatis*² [1, 2].

Доклинические испытания опытного образца препарата проводились согласно требованиям ГОСТа³ и руководства по проведению доклинических исследований лекарственных средств⁴.

Исследования на радиоактивные вещества растительного сырья на цезий 137 и стронций 90 проводили на приборе Прогресс. Измерение Ph препарата проводили при помощи прибора РН-метр многопредельный РН-410. Антибактериальную эффективность препарата определяли капельным и дисковым методом с наблюдением зоны задержки роста суточной культуры *E. coli* [9 – 12].

Для апробации опытного препарата по принципу аналогов сформированы две группы лабораторных животных (белые мыши) по 10 грызунов в каждой группе в возрасте 2–5 мес массой 25–32 г. В опытной группе животным задавали разработанный препарат, который был у мышей в свободном доступе (доза составила 3 мл/сут на одну особь). В контрольной группе животным не задавали фитопрепарат. Рацион кормления у всех животных не меняли (зерно, овощи, сено).

У животных данных групп общепринятыми методами⁵ ежедневно оценивали клинический статус животных (температуру, пульс, дыхание, исследование видимых слизистых оболочек, состояние фекалий, поведение животных). Кормление животных проводили в обычном режиме (овощи, зерно, сено).

Для оценки показателей крови при применении препарата у грызунов опытной ($n = 10$) и контрольной групп ($n = 10$) на 10-й день эксперимента провели отбор проб крови в вакуумные пробирки Vacutainer с K_2 ЭДТА. Для гематологического анализа использовали гематологический анализатор PCE 90 Vet с комплектом специальных реагентов⁶.

Для оценки общетоксического действия учитывали патоморфологическую картину внутренних органов опытных животных с применением метода изолированного извлечения органов с применением макроскопического экспериментального анализа⁷ [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На этапах доклинического исследования разрабатываемых препаратов существует возможность выявить преимущества и недостатки как составных компонентов препарата, так и комплексного состава фитосырья.

В начале эксперимента определяли фармацевтическую совместимость ингредиентов⁸. В этих целях сырье согласно рецептуре растворяли в дистиллированной воде, смешанной с 40%-й молочной кислотой в соотношении 6 : 1. Установили, что все препараты хорошо растворялись в этой смеси, образуя раствор коричневого цвета.

По результатам радиологического анализа фитопрепарата уровень исследуемых элементов (цезий-137, стронций-90) находился в пределах допустимого уровня (440 Бк/кг и 110 Бк/кг соответственно). Ph препарата составил 6,7 ед., что является благоприятной средой для желудочно-кишечного тракта животных.

Оценка физиологических показателей животных при доклинических исследованиях показала, что в первые сутки фитопрепарат

²Лыснянский М.В. Лекарственные растения тысячелетия // Провизор. 2004. № 19. С. 27–37.

³ГОСТ Р 53434–2009 Принципы надлежащей лабораторной практики / Нац. стандарт РФ. М., 2009 г.

⁴Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств: часть первая / под. ред. А.Н. Минова. М.: Гриф и К, 2012. 994 с.

⁵Винников Н.Т., Калюжный И.И., Коробов А.В. Методические указания по лабораторным методам исследования в ветеринарии. Саратов: СГАУ, 2000. 180 с.

⁶Набор реагентов диагностических для обеспечения работы гематологических анализаторов по ТУ 9398-001-85747522–2009 производства ООО «Клиникал Диагностика Солюшнз» (Россия).

⁷Жаров А.В., Иванов И.В., Стрельников А.П. Вскрытие и патоморфологическая диагностика болезней животных / Под ред. А.В. Жарова. М.: Колос. 2000. 400 с.

⁸Банний И.П., Литвиненко М.М. Фармакологический анализ лекарственного растительного сырья/ И.П. Банний, М.М. Литвиненко и др. // Учебное пособие. Х.: Золотые страницы, 2003. 86 с.

опытные животные пили с осторожностью, средняя доза составила 1,0–1,5 мл на одну особь. Во вторые сутки раствор выпивали хорошо, в дозе 3 мл на одну особь.

Физиологические показатели температуры, частоты сердечных сокращений и частоты дыхания у опытных животных во всем периоде эксперимента находились в пределах нормы. Состояние желудочно-кишечного тракта (консистенция фекалий) также соответствовало нормальному гомеостазу. Изменений со стороны слизистых оболочек и шерстного покрова у опытных животных не наблюдалось. Двигательная активность у животных опытной группы была более выражена. Считаем, что данный факт объясняется содержанием в корневище амаранта природного сахара, соответственно, при его расщеплении в организме образуется больше энергетического ресурса.

При оценке морфологических показателей крови опытных животных можно объективно оценить физиологическое состояние орга-

низма животных. Данные гематологических показателей приведены в таблице.

Результат общего анализа крови показал, что применение фитопрепарата оказывает благоприятное влияние на содержание основных показателей крови – увеличение числа лимфоцитов на 23,8%, гематокрита на 8,6%, гемоглобина на 40%. По количеству моноцитов и эозинофилов разница между животными исследуемых групп достоверных различий не имела. Количество гранулоцитов достоверно было выше у мышей в контрольной группе ($p < 0,05$). У грызунов опытной группы регистрировали сдвиг в лейкоцитарной формуле – увеличено количество лимфоцитов и снижено количество гранулоцитов. Отличия в системе гемостаза отмечаются со стороны количества тромбоцитов, их содержание на 4,3% выше, чем у животных контрольной группы. Цветовой показатель крови, позволяющий определить степень насыщения эритроцитов гемоглобином, у опытных грызунов составил 20,8%. Это со-

Сравнительная характеристика гематологических показателей белых мышей после дачи препарата через 10 дней применения ($M \pm m$; $n = 20$)

Comparative characteristics of hematological parameters of white mice after giving drugs after 10 days of use ($M \pm m$; $n = 20$)

Гематологический показатель	Нормативный диапазон	Группа животных	
		опытная	контрольная
Лейкоциты (WBC, 10^9 г/л)	1,8–10,7	$9,8 \pm 1,70$	$9,4 \pm 1,10$
Лимфоциты (LYM, 10^9 г/л)	1,0–9,8	$8,0 \pm 1,25$	$6,1 \pm 0,5^*$
Моноциты, эозинофилы (MIN, 10^9 г/л)	0–1,1	$0,1 \pm 0,07$	$0,3 \pm 0,21$
Гранулоциты (GRA, 10^9 г/л)	0,1–4,1	$0,7 \pm 0,34$	$0,3 \pm 0,55$
Лимфоциты (LYM, %)	55,8–91,6	$89,8 \pm 6,65$	$72,2 \pm 5,11$
Моноциты, эозинофилы (MON, %)	1,5–6,2	$1,7 \pm 0,65$	$4,6 \pm 3,43^*$
Гранулоциты (GRAN, %)	6,6–38,9	$1,9 \pm 8,42$	$8,5 \pm 0,75^*$
Эритроциты (RBC, 10^{12} /л)	6,36–9,42	$6,5 \pm 1,21$	$5,2 \pm 0,32$
Гемоглобин (HGB, г/л)	110–151	$135,0 \pm 24,50$	$95,0 \pm 25,0^{**}$
Гематокрит (HCT, %)	35,1–45,4	$37,73 \pm 4,65$	$29,1 \pm 3,41^*$
Средний объем эритроцитов (MCV, fl)	45,4–60,3	$65,0 \pm 0,75$	$62,0 \pm 0,75$
Среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH, pg)	14,1–19,3	$18,5 \pm 1,12$	$14,2 \pm 1,15$
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC, г/л)	302–342	$311,0 \pm 27,10$	$295,0 \pm 22,52$
Тромбоциты (PLT, 10^9 /л)	592–641	$564,1 \pm 76,21$	$588,0 \pm 48,10$

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$.

ответствует нормальному физиологическому значению. При изучении бактерицидной эффективности препарата наблюдали средний уровень зоны задержки роста суточной культуры *E. coli* (1,5–2,9 мм).

По окончании эксперимента выборочно ($n = 6$) проводили эвтаназию грызунов из опытной группы (так как гибели лабораторных животных не наблюдалось). При оценке морфологической картины опытных животных паренхиматозные органы и желудочно-кишечный тракт не имели патоморфологических изменений, соответствующих токсическим изменениям. В частности, в печени – наиболее чувствительном к действию токсических веществ органе – макроскопическая картина соответствовала норме (паренхима органа однородная, структурных и дистрофических изменений в органе не обнаружено).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены доклинические испытания с применением методов экспериментального и сравнительного анализа, гематологических и патоморфологических методик разработанного опытного образца фитопрепарата (плоды шиповника – *surrexit coxis*, плоды черемухи – *cerasis fructus*, цветы ромашки – *pyrethri flores*, корневище амаранта – *amaranthus rhizomatis*). Применение фитопрепарата в дозе 3 мл на одну особь, вводимого per os лабораторным животным, оказало положительное воздействие на их физиологическое состояние и не отразилось отрицательно на поведении. Препарат не обладает токсичностью для организма животных (отсутствие токсической дистрофии в органах животных); не радиоактивен (ПДУ в пределах нормативного значения по цезию (137) и стронцию (90)); Rh составляет 6,7 ед.; обладает антибактериальным эффектом; достоверно повышает число лимфоцитов на 23,8%, гематокрита на 8,6%, гемоглобина на 40% ($p < 0,01$) в крови опытных животных.

Таким образом, руководствуясь классификацией, принятой в настоящее время Всемирной организацией здравоохранения, раз-

работанный фитопрепарат можно отнести к группе малотоксичных веществ, и, в соответствии с ГОСТ 12.1.007–76, по степени токсичности – к IV классу опасности (вещества малоопасные). Препарат рекомендуется для клинических испытаний на молодняке крупного рогатого скота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л. Влияние фитобиотических препаратов на морфохимические показатели крови телят при диспепсии // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. № 5. С. 98–104. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-5-123.
2. Хотим Е.Н., Жигальцова А.М., Анпаду Кумара. Некоторые аспекты современной фитотерапии // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2018. № 3 (55). С. 136–140.
3. Лопатина М.В. Петрицкая Е.Н., Ивлиева А.Л. Зависимость потребления жидкости лабораторными мышами от рациона // Лабораторные животные для научных исследований. 2018. № 3. С. 96–99.
4. Мартынов А.Н., Якименко Н.Н., Шумаков В.В., Хозина В.М., Клетикова Л.В. Изменение физиолого-биохимических процессов в организме животного при нарушении метаболизма // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 3. С. 31–34.
5. Слепцов И.И., Мартынов А.А., Алексеева Н.И., Васильев Я.В. Влияние минеральной добавки «Хелавит-а» на прирост и показатели крови молодняка калмыцкой породы в первые месяцы жизни // Вестник КрасГАУ. 2021. № 1. С. 101–105. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-101-105.
6. Прытков Ю.Н., Кистина А.А., Дорожкина Е.И. Применение хвойно-энергетической добавки в кормлении молодняка крупного рогатого скота в молочный период выращивания // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 60–63.
7. Кашаева А.Р., Шакиров Ш.К., Ахметзянова Ф.К., Крупин Е.О. Эффективность скормливания телятам энергетической кормовой добавки «Цеолфат» в составе комбикорма // Вестник КрасГАУ. 2020. № 4. С. 107–112. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-4-107-112
8. Самойленко В.С., Ожередова Н.А., Николаенко В.П., Симонов А.Н., Киц Е.А., Белугин Н.В.

- Влияние опытного образца синбиотического средства на биохимические показатели крови и иммунологический статус телят // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7. С. 143–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-143-151.
9. Vatnikov Yu., Shabunin S., Kulikov E. The efficiency of therapy of the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum Perforatum* L. // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. N 12 (S. 2). P. 3064–3073.
10. Сапарклычева С.Е., Чапалда Т.Л. Антимикробная активность кровохлебки лекарственной // Аграрное образование и наука УГАУ. Серия «Биологические науки». 2020. № 2. С. 10–14.
11. Метлева А.С., Мга Д.В. Влияние отвара корневищ и корней кровохлебки лекарственной на рост условно-патогенных и молочнокислых микроорганизмов *in vitro* // Вестник КрасГАУ. 2023. № 3. С. 125–132. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-125-132.
12. Колганов А.Е., Якименко Н.Н., Клетикова Л.В., Турков В.Г., Мартынов А.Н. Влияние физиологического статуса на показатели крови коров Ярославской породы // Ветеринария и кормление. 2019. № 1. С. 14–17.
13. Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л., Куделько А.А. Применение нового фитопрепарата при желудочно-кишечных расстройствах поросят // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 56–61. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-5-6.
4. Martynov A.N., Yakimenko N.N., Shumakov V.V., Khozina V.M., Kletikova L.V. The change of physiological and biochemical processes in the animal's organism at the metabolic disorders. *Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian journal of Upper Volga region*, 2019, no. 3, pp. 31–34. (In Russian).
5. Sleptsov I.I., Martynov A.A., Alekseeva N.I., Vasil'ev Ya.V. The Influence of “Helavit-A” mineral additives on the gain and the indicators of blood of the Kalmyk breed's young growth in the first months of life. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2021, no. 1, pp. 101–105. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-101-105.
6. Prytkov Yu.N., Kistina A.A., Dorozhkina E.I. Application of the coniferous-energy additive in the feeding of young cattle in the dairy growing period. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2019, no. 4, pp. 60–63. (In Russian).
7. Kashaeva A.R., Shakirov Sh.K., Akhmetzyanova F.K., Krupin E.O. The efficiency of feeding calves with the energy fodder additive “Zeolfat” in feed composition. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2020, no. 4, pp. 107–112. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-4-107-112.
8. Samoilenko V.S., Ozheredova N.A., Nikolaenko V.P., Simonov A.N., Kits E.A., Belugin N.V. Synbiotic agent prototype impact on blood biochemical parameters and calves' immunological status. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2021, no. 7, pp. 143–151. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-7-143-151.
9. Vatnikov Yu., Shabunin S., Kulikov E. et. al. The efficiency of therapy of the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum Perforatum* L. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020, no. 12 (S. 2), pp. 3064–3073.
10. Saparklycheva S.E., Chapalda T.L. Antimicrobial activity medicinal hemoptysis (*Sanguisorba officinalis* L.) *Agrarnoe obrazovanie i nauka UGAU. Seriya «Biologicheskie nauki» = Agricultural education and science USAU. “Biological Sciences” series*, 2020, no. 2, pp. 10–14. (In Russian).
11. Metleva A.S., Mga D.V. The effect of rhizomes and roots decoction of medicinal hemophlebus on the growth of conditionally pathogenic

REFERENCES

- and lactic acid microorganisms *in vitro*. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2023, no. 3, pp. 125–132. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-125-132.
12. Kolganov A.E., Yakimenko N.N., Kletikova L.V., Turkov V.G., Martynov A.N. The influence of the physiological status on the blood parameters of cows of the Yaroslavl breed. *Veterinariya i kormlenie = Veterinaria i kormlenie*, 2019, no. 1, pp. 14–17. (In Russian).
13. Savelyeva L.N., Bondarchuk M.L., Kudelko A.A. Application of a new phytopreparation for gastrointestinal disorders in piglets. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, no. 5, pp. 56–61. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2020-5-6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Савельева Л.Н.**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 670049, Забайкальский край, Чита, ул. Кирова, 49; e-mail: luba.saveleva@mail.ru

Бондарчук М.Л., младший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Lubov N. Savelyeva**, Candidate of Science in Biology, Lead Researcher; **address:** 49, Kirova St., Chita, Trans-Baikal Territory, 670049, Russia; e-mail: luba.saveleva@mail.ru

Maria L. Bondarchuk, Junior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 04.07.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 24.08.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023

БИОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕДОНОСНЫХ УГОДИЙ В ХОДЕ СУКЦЕССИИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Самсонова И.Д.^{1,2}, ✉ Плахова А.А.³

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова
Санкт-Петербург, Россия

²Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы
Уфа, Россия

³Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

✉ e-mail: alla.kruglikova@bk.ru

Представлены результаты исследований медоносных угодий на лесных и нелесных землях лесного фонда Кемеровской области. Проведена оценка медоносных ресурсов по категориям земель лесного фонда и биоресурсного потенциала угодий для медосбора в процессе сукцессии лесной растительности. Изучение видового состава медоносных растений выполняли в 2018–2022 гг. на различных категориях земель. Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методами проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве. Учет медоносных растений проводили на трансектах и учетных площадках, используя методику таксации леса. Установлено, что в процессе сукцессии лесной растительности изменяются микроклиматические и лесорастительные условия медоносных угодий. На вырубках высокой медовой продуктивностью отмечены акация желтая, ивовые, жимолость татарская и съедобная, малина лесная и представители травянистых фитоценозов – дягиль сибирский, кипрей узколистный. Медовая продуктивность угодий, не покрытых лесной растительностью, на вырубках, в таежных лесах составляет 229,4 кг/га. На лесных землях, не покрытых лесной растительностью в радиусе пасеки, на площади 414 га биоресурсный потенциал угодий для медосбора составил 68 464 кг. Медовый запас 88 600 кг позволяет содержать на учетной территории 738 пчелиных семей. Полученные достоверные научные сведения с практической стороны необходимы для корректировки лесных планов территорий и для своевременного планирования и организации территории пасек.

Ключевые слова: медоносные угодья, биоресурсный потенциал, лесные и нелесные земли, медовый запас, пчелиные семьи

BIORESOURCE POTENTIAL OF HONEY-MAKING LANDS DURING THE SUCCESSION OF FOREST VEGETATION

Samsonova I.D.^{1,2}, ✉ Plakhova A.A.³

¹Saint-Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov
Saint-Petersburg, Russia

²Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla
Ufa, Russia

³Novosibirsk State Agrarian University
Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: alla.kruglikova@bk.ru

The results of the studies of honey-making lands on forest and non-forest lands of the forest fund of the Kemerovo region are presented. The assessment of honey-making resources by categories of forest lands for honey collection and bioresource potential of lands for honey collection in the process of succession of forest vegetation was carried out. The study of the species composition of honey plants was carried out in 2018–2022 on various categories of lands. The research was carried out in accordance with the generally accepted methods of conducting research in beekeeping. The accounting of honey plants was carried out on transects and discount areas using the methodology of forest taxation. It is established that microclimatic and forest-growing conditions of honey-making lands change during the succession of forest vegetation. Siberian pea-tree, willow family, Tartarian honey-

suckle and edible honeysuckle, forest raspberry and the representatives of herbaceous phytocenoses - Siberian garden angelica, rosebay willowherb - are noted on clearings with high honey productivity. Honey productivity of the lands not covered with forest vegetation, on clearings, and in taiga forests is 229.4 kg/ha. The bioresource potential of the lands for honey collection amounted to 68,464 kg on forest lands not covered with forest vegetation within the radius of the apiary on the area of 414 hectares. The honey stock of 88,600 kg makes it possible to keep 738 bee colonies on the registration plot. The obtained reliable scientific information from the practical side is necessary for the adjustment of forest plans of the territories and for the timely planning and organization of the territory of apiaries.

Keywords: honey-making lands, bioresource potential, forest and non-forest lands, honey stock, bee families

Для цитирования: Самсонова И.Д., Плахова А.А. Биоресурсный потенциал медоносных угодий в ходе сукцессии лесной растительности // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 87–93. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-10>

For citation: Samsonova I.D., Plakhova A.A. Bioresource potential of honey-making lands during the succession of forest vegetation. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 87–93. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-10>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Российской Федерации значительные площади занимают медоносные угодья, которые характеризуются богатым видовым разнообразием медоносной флоры. Среди естественных угодий в качестве пастбищ для пчел представляют интерес земли лесного фонда. Медоносной ценностью отличаются растения, произрастающие под пологом древостоя и на опушках леса, а также на землях, не покрытых лесной растительностью, и нелесных землях. Состав медоносных ресурсов, их эколого-биологические свойства находятся в зависимости от природно-климатических факторов. В различных географических зонах складываются лесорастительные условия, которые влияют на рост и развитие медоносных растений, на физиологические процессы, в частности, на интенсивность выделения биологических веществ – нектара и пыльцы [1–3]. В течение пчеловодного сезона местность, на которой базируется пасека, отличается особенностями медосборных условий. Видовое разнообразие медоносной флоры, эколого-биологические особенности и сроки цветения на-

ходятся в зависимости от складывающегося микроклимата: освещенности, влаги, температуры, почвенного питания [4, 5].

Определение биоресурсного потенциала лесных угодий базируется на проведении наблюдений и выполнении учета дикорастущих медоносов в составе всех компонентов лесного фитоценоза [6–8]. Лесные пастбища для пчел являются источником ценной продукции пчеловодства, способствуют сохранению естественных популяций в лесах путем опыления энтомофильных растений пчелами¹ [9]. Поэтому уточнение медовой продуктивности главных медоносов лесных угодий имеет большое значение для своевременного планирования и организации пасеки к пчеловодному сезону.

Цель исследований – выявить медоносные ресурсы по категориям земель лесного фонда для медосбора и определить биоресурсный потенциал угодий для медосбора в процессе сукцессии лесной растительности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами для проведения исследований выбраны территории Кемеровской области:

¹До Ван Тхао Комплексная оценка медоносных растений березняков и биоресурсный потенциал угодий в Балтийско-Белозерском таежном лесном районе: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2020. 24 с.

Горная Шория, Барзасская тайга (Кемеровский район), Чебулинский, Ижморский, Крапивинский районы Кемеровской области. Уточнение видового состава медоносных растений выполняли в 2018–2022 гг. на различных категориях земель. Учет медоносных растений проводили на трансектах и учетных площадках, используя методику таксации леса. Наблюдения и сбор сведений, необходимых для уточнения медовой продуктивности основных видов, проводили по общепринятой методике [10].

Для лесных угодий пасеки Кемеровской области площадью радиуса эффективного лёта пчел для получения продуктивного медосбора определяли биоресурсный потенциал. Медовый запас составляет 0,625 от биоресурсного потенциала, так как в меде из нектара основных медоносов содержится около 80% сахаров и используется половина потенциала ресурсов лесов для медосбора [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения показали, что после проведения рубки леса и лесных пожаров в таежных условиях первые 5–7 лет активно растет и интенсивно выделяет нектар главный ценный медонос – кипрей узколистный, иванчай (*Epilobium angustifolium* L.). В период цветения кипрея масса меда в контрольном улье пасеки достигала 18 кг.

Учеными установлено, что практически все лесные районы Сибири относятся к малиново-кипрейному типу медосбора. По оценке угодий Кемеровской области, кипрей узколистный по площади распространения и медоносной ценности находится на первом месте среди других лесных медоносов. Однако варьирование показателей контрольных ульев на зарослях кипрея от 400 г до 5–6 кг в восточных районах области связано с лесорастительными условиями [12].

Результаты исследований И.Д. Самсоновой [13] морфобиологических показателей и биологической продуктивности иванчая позволили выявить особенности в процессе роста, развития медоноса и секретирования нектара. Сравнивая густоту произрастания

вида и интенсивность цветения на опушках леса и гарях, установлено преимущество в исследуемых показателях на землях после лесных пожаров. Связано это с благоприятными экологическими условиями гарей, где отсутствует конкуренция других видов за свет, влагу и элементы питания в почве [13]. Через 7 лет в почве содержание калия уменьшается, что отражается на нектаровыделении кипрея. Заросли медоноса также активно развиваются, но при этом становятся менее интересны для пчел. Интенсивность выделения нектара снижается, контрольный улей в день составляет 0,5–1,8 кг меда. Вместо кипрея в тайге появляются заросли дягиля сибирского (*Archangelica decurrens* Ledeb.), дягиля лесного (*Angelica silvestris* L.). Эти медоносы обеспечивают медосбор по 10–14 кг в день. Произрастают они 10–16 лет, и выделение нектара у этих растений не прекращается, как у кипрея. Проведение рубок в спелом древостое тайги создает благоприятные условия в освещенности для медоносных кустарников акации желтой (*Caragana arborescens* Lam.), жимолости татарской (*Lonitiera tatarika* L.), жимолости съедобной (*Lonitiera edulis* Turcz.), малины лесной (*Rubus idaeus* L.), свидины белой (*Cornus alba* L.). При хорошем освещении эти кустарники обильно выделяют нектар, привесы в день достигают 16,7 кг меда с акации желтой [13]. Эти растения выделяют нектар в течение 20–26 лет. Через 20–26 лет после вырубki тайги или лесного пожара медоносные растения вытесняются ядовитыми многолетними травами: аконитом (*Aconitum septentrionale* Koelle), живокостью высокой (*Delphinium elatum* L.), живокостью полевой (*Delphinium consolida* L.), крестовником копьевидным (*Senecio sagittatus* L.), зарослями из тополя осины (*Populus tremula* L.) и березы белой (*Betula alba* L.), редко хвойными деревьями. В это время в тайге отсутствуют медоносные растения и пчелы, собирая нектар и пыльцу с ядовитых видов растений, они массово гибнут [14]. В связи с этим, если не перемещать пасеки из такой местности, сложившиеся лесорастительные условия могут негативно отразиться на жизнедеятельности пчелиных

семей. Для более точной оценки кормовой базы были проведены обследования лесов в Кемеровской области (см. табл. 1).

В результате проведенных наблюдений в черневой пихтово-осиновой тайге на лесных полянах, а также на землях, не покрытых лесной растительностью (вырубки и гари), отмечается обильное произрастание медоносных видов. По берегам горных рек встречаются медоносные формации, состоящие из ивовых деревьев и кустарников. На открытых склонах выявлены большие заросли желтой акации.

В составе 10-летних зарослей распространена малина лесная. По буреломам приспособляется к благоприятным лесорастительным условиям смородина красная (*Ribes rubrum* L.). Встречаются здесь ценные весенние медоносы: рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.), жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.) и другие кустарники. На лесных полянах и нелесных землях (лугах) в летний период травянистая растительность достигает максимального развития в высоту. Из травянистых медоносов в таежных условиях распространены ранцветущие виды: кандык сибирский (*Erythronium sibiricum* Kryn.), ветреница алтайская (*Anemonea ltaic* Fisch. Ex C.A. Mey.), медуница мягко-

пушистая (*Pulmonaria mollissima* A. Kerner). Здесь также произрастают нектаропыльценонос с растянутым сроком цветения – купырь лесной (*Anthris cussylvestris* L.); поздноцветущие – соссурия широколистная (*Saussurea latifolia* Ledeb.), осот лесной (*Cirsium heterophyllum* L. All.) и др. На гарях в первые годы развиваются кипрей узколистный (*Epilobium angustifolium* L.), синюха лазурная (*Polemonium coeruleum* L.), дягиль лесной (*Angelica sylvestris* L.), дягиль сибирский (*Archangelica decurrens* Ledeb.) и летние медоносы – клевер белый (*Trifolium repens* L.) и клевер розовый (*Trifolium hybridum* L.), которые в редких случаях посещаются пчелами.

Исходя из сведений о видовом составе и площадях медоносных растений в радиусе эффективного лёта пчел, составили медовый баланс пасеки на территории Кемеровской области (см. табл. 2).

Исследования местности пасеки в радиусе эффективного лёта пчел показали, что 414 га вырубленного леса в Кемеровской области ежегодно без посева и ухода выделяют 68 464 кг нектара (см. табл. 2). Из этого биоресурсного потенциала угодий пчелами доставляется в ульи 50%. Остальной нектар не может быть использован пчелами из-за плохой погоды, из-за сбора нектара другими насекомыми, и не все растения пчелы посе-

Табл. 1. Медовая продуктивность не покрытых лесной растительностью земель Кемеровской области

Table 1. Honey productivity of non-forested lands in the Kemerovo region

Медоносное растение	Встречаемость, %	Медовая продуктивность, кг/га
<i>Вырубки</i>		
Желтая акация (<i>Caragana arborescens</i> Lam.)	20	70
Жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i> L.)	1	2
Малина лесная, обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.)	1,5	2,1
Ивы всех видов (<i>Salix</i> L.)	13	26
Черемуха обыкновенная (<i>Prunus padus</i> L.)	5	2
Дягиль сибирский (<i>Archangelica decurrens</i> Ledeb.)	10	40
<i>Лесные поляны</i>		
Дягиль лесной (<i>Angelica sylvestris</i> L.)	5	15
Синюха лазурная (<i>Polemonium coeruleum</i> L.)	5,5	3,3
Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.)	21	21
Белый клевер (<i>Trifolium repens</i> L.)	3	3
Кипрей узколистный (<i>Epilobium angustifolium</i> L.)	15	45
Итого		229,4

Табл. 2. Биоресурсный потенциал угодий и медовый баланс пасеки

Table 2. Bioresource potential of the lands and honey balance of the apiary

Период медосбора	Медоносное растение	Площадь, га	Биоресурс- ный потен- циал, кг	Медовый запас, кг
<i>Лесные земли (вырубки)</i>				
I (весенний)	Ива козья (бредина) (<i>Salix caprea</i> L.)	108	25 920	16 200
	Акация желтая (<i>Caragana arborescens</i> Lam.)	49	27 440	17 150
	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)	25	400	250
II (раннелетний)	Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i> Mill.)	166	5312	3320
	Смородина (<i>Ribes</i> L.)	41	4592	2870
III (летний)	Малина лесная (<i>Rubus idaeus</i> L.)	25	4800	3000
<i>Нелесные земли (луг)</i>				
I–II (весенний и раннелетний)	Луговое разнотравье	68 (20–30%)	3264	2040
III (летний)	Дягиль сибирский (<i>Archangelica decurrens</i> Ledeb.)	32	11 776	7360
	Борщевик рассеченный (<i>Heracleum dissectum</i> Ledeb.)	31	5952	3720
	Кипрей узколистный (<i>Epilobium angustifolium</i> L.)	43	24 080	15 050
	Клевер белый и розовый (<i>Trifolium repens</i> L., <i>Trifolium hybridum</i> L.)	44	7040	4400
	Лабазник обыкновенный (<i>Filipendula vulgaris</i> Moench.)	28	448	280
IV (позднелетний)	Бодяк изменчиволистный (разнолистный) (<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill)	40	11 520	7200
	Соссюрея широколистная (<i>Saussurea latifolia</i> Ledeb.)	16	3072	1920
	Осот розовый (бодяк щетинистый) (<i>Cirsium setosum</i> Willd.)	32	6144	3840
Итого		748	141 760	88 600

щают для сбора нектара. Медовый запас на землях лесного фонда в этом районе, по нашим расчетам, достигает 88 600 кг. При продуктивности пасеки 30 кг товарного меда от одной семьи и 90 кг кормового меда только на вырубках Кемеровской области можно содержать 738 пчелиных семей и получать 22 т товарного меда.

Учитывая, что значительные площади рубок леса только за один год дают возможность увеличить количество пчелиных семей, лес вырубается ежегодно и почти столько же сжигается, то на этих площадях число пчел можно увеличить в 7 раз, плотность пчелиных семей увеличить до 51 улья/км².

ВЫВОДЫ

1. В процессе сукцессии лесной растительности изменяются микроклиматические и лесорастительные условия медоносных угодий, которые отражаются на их медоносной ценности.

2. На вырубках высокой медовой продуктивностью отличаются акация желтая, ивовые, жимолость татарская и съедобная, малина лесная и представители травянистых фитоценозов – дягиль сибирский и кипрей узколистный. Медовая продуктивность не покрытых лесной растительностью земель составляет 229,4 кг/га.

3. На лесных землях, не покрытых лесной растительностью в радиусе пасеки, на площади 414 га биоресурсный потенциал угодий для медосбора составил 68 464 кг. Медовый запас 88 600 кг позволяет содержать на учетной территории 738 пчелиных семей.

4. Достоверные сведения о флористическом составе медоносной растительности, медовом запасе лесных угодий, по обилию и территориальному размещению медоносных ресурсов в составе различных растительных сообществ необходимы для корректировки лесных планов территорий, разработки проектов освоения лесов, для своевременного планирования и организации территории пасек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kashkovskii V.G., Plakhova A.A., Moruzi I.V., Tokarev V.S., Kropachev D.V. Ecology and biological resources of melliferous plants in the Vasyugan Plain and their importance for the Arctic belt // *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7. N 4.38. P. 235–238.
2. Ендовицкий Р.В., Пашаян С.А. Медоносные растения Тюменской области // *Пчеловодство*. 2022. № 5. С. 22–24.
3. Савин А.П., Бышов Н.В., Лебедев В.И., Редькова Л.А. Повышение репродуктивного потенциала растений энтомофильной группы в результате жизнедеятельности медоносных пчел: монография. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. 200 с.
4. Карташев А.Б. Климат и пчеловодство // *Пчеловодство*. 2022. № 9. С. 56–60.
5. Кулистикова Т. Как глобальные изменения климата влияют на сельское хозяйство // *Агроинвестор*. 2019. № 9. С. 15–18.
6. Zdenko F. Apiforestry – pčelarstvo i šumarstvo // *Лесной лист*. 2019. Т. 143. Вып. 3–4, Р. 171–178. DOI: 10.31298/sl.143.3-4.7.
7. Каишковский В.Г. Содержание и разведение медоносных пчел *Apis mellifera* L.: монография. Новосибирск: ООО «Печатное издательство Агро-Сибирь», 2018. 414 с.
8. Савин А.П. Создание непрерывного медоносного конвейера. Среднерусская порода медоносных пчел в стратегии развития мирового пчеловодства: монография. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 117–120.
9. Савин А.П. Опыление – важный фактор возделывания энтомофильных культур // *Пчеловодство*. 2022. № 6. С. 30–32.
10. Саттаров В.Н., Самсонова И.Д., Морев И.А., Ильясов Р.А. Фундаментальные методы исследований в пчеловодстве и их результаты: монография. Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2023. 183 с.
11. Каишковский В.Г. Уход за пчелами в Сибири. Историческая ложь. Кемеровская система пчеловодства: монография. Рязань: издательство «Наука и пчелы», 2023. 216 с.
12. Каишковский В.Г. Содержание и разведение медоносных пчел *Apis mellifera* L.: монография. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский филиал ФГУП «Издательство Наука», 2021. 423 с.

13. Самсонова И.Д. Географические особенности медоносных угодий на землях лесного фонда // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. № 4 (90). С. 99–103.
14. Каишковский В.Г. Содержание и разведение медоносных пчел *Apis mellifera* L.: монография. Киев: Книгоноша, 2019. 424 с.

REFERENCES

1. Kashkovskii V.G., Plakhova A.A., Moruzi I.V., Tokarev V.S., Kropachev D.V. Ecology and biological resources of melliferous plants in the Vasyugan Plain and their importance for the Arctic belt. *International Journal of Engineering and Technology*, 2018, vol. 7, no. 4.38, pp. 235–238.
2. Endovickij R.V., Pashajan S.A. Honey plants of the Tyumen region. *Pchelovodstvo = Beekeeping*, 2022, no. 5, pp. 22–24. (In Russian).
3. Savin A.P., Byshov N.V., Lebedev V.I., Red'kova L.A. *Increasing the reproductive potential of plants of the entomophilic group as a result of the vital activity of honey bees*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2018, 200 p. (In Russian).
4. Kartashev A.B. Climate and beekeeping. *Pchelovodstvo = Beekeeping*, 2022, no. 9, pp. 56–60. (In Russian).
5. Kulistikova T. How global climate change affects agriculture. *Agroinvestor = Agroinvestor*, 2019. No. 9, pp. 15–18. (In Russian).
6. Zdenko F. Apiforestry – beekeeping and forestry. *Lesnoj list = Šumarski list*, 2019, vol. 143, is. 3–4, pp. 171–178. (In Croatian). DOI: 10.31298/sl.143.3-4.7.
7. Kashkovskij V.G. *Maintenance and breeding of honey bees Apis mellifera* L., Novosibirsk, ООО “Agro-Sibir Printing House”, 2018, 414 p. (In Russian).
8. Savin A.P. *Creation of a continuous honey conveyor. The Central Russian breed of honey bees in the development strategy of world beekeeping*, Kirov, FASC of the North-East, 2019, pp. 117–120. (In Russian).
9. Savin A.P. Pollination is an important factor in cultivation of entomophilous crops. *Pchelovodstvo = Beekeeping*, 2022, no. 6, pp. 30–32. (In Russian).
10. Sattarov V.N., Samsonova I.D., Morev I.A., Il'jasov R.A. *Fundamental research methods in beekeeping and their results*, Ufa, BSPU n.a. M. Akmulla, 2023, 183 p. (In Russian).

11. Kashkovskij V.G. *Bee care in Siberia. A historical lie. Kemerovo beekeeping system*, Ryazan: "Science and Bees" Publishing House, 2023, 216 p.
12. Kashkovskij V.G. *Maintenance and breeding of honey bees Apis mellifera L.*, Saint-Petersburg: St. Petersburg branch of FSUE "Publishing House Nauka", 2021, 423 p. (In Russian).
13. Samsonova I.D. Geographic features of melliferous lands on the lands of the forest funds. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Orenburg State Agrarian University*, 2021, no. 4 (90), pp. 99–103. (In Russian).
14. Kashkovskij V.G. *Maintenance and breeding of honey bees Apis mellifera L.*, Kyiv, Knigonosha, 2019, 424 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Самсонова И.Д., доктор биологических наук, доцент, профессор

✉ **Плахова А.А.**, доктор биологических наук, доцент, профессор; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: alla.kruglikova@bk.ru

AUTHOR INFORMATION

Irina D. Samsonova, Doctor of Science in Biology, Associate Professor, Professor

✉ **Alevtina A. Plakhova**, Doctor of Science in Biology, Associate Professor, Professor; **address:** 160, Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: alla.kruglikova@bk.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 20.03.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 10.05.2023

Дата публикации / Published 20.10.2023

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТОВ ЗАМЕСТИТЕЛЬНОЙ ТЕРАПИИ ПРИ БРОНХОПНЕВМОНИИ ТЕЛЯТ

✉ Требухов А.В., Багина В.О., Деменёва А.Е.

Алтайский государственный аграрный университет
Барнаул, Россия

✉ e-mail: aleks_tav@mail.ru

Представлены результаты исследований методов лечения бронхопневмонии молодняка крупного рогатого скота. Отмечено, что заболевание связано с воздействием ряда различных этиологических условий (понижением температуры воздуха, увлажнением воздуха, а также его загрязнением и т.д.) на организм животного. Бронхопневмония телят регистрируется на животноводческих комплексах в холодное и сырое время года как сезонное заболевание. В связи с этим разработка эффективных схем лечения данной патологии является актуальной задачей. Изучена эффективность применения препаратов заместительной терапии при лечении бронхопневмонии телят. Исследование проведено в хозяйстве Алтайского края в осенний период. Для реализации данного опыта по принципу аналогов были сформированы две равные группы телят (опытная и контрольная) по 5 гол. в каждой. В схему лечения обеих групп входили препараты Ресфлор и Локсик 2%. Телята контрольной группы в качестве препарата заместительной терапии получали ВитОкей, опытной – Витам. Во время эксперимента проведена оценка клинических признаков и морфологический анализ крови. При клиническом исследовании телят отмечены следующие признаки: повышенная температура тела, хрипы, кашель, очаги притупления в легких в области передних и задних долей, апатичность, истечения из носа, потеря аппетита, эритропения (до $(4,6 \pm 0,2) \times 10^{12}/л$), лейкоцитоз (до $(16,5 \pm 0,6) \times 10^9/л$), повышение СОЭ (до $1,2 \pm 0,1$ мм/ч), нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом ядра влево и моноцитопения. К 5-м суткам лечения у телят опытной группы отсутствовали хрипы в легких, кашель, температура тела была в пределах нормы. На 7-е сутки отмечались повышение эритроцитов ($(6,4 \pm 0,3) \times 10^{12}/л$), снижение лейкоцитов ($(10,6 \pm 0,3) \times 10^9/л$) и СОЭ ($0,4 \pm 0,1$ мм/ч). Применение витаминно-аминокислотного комплекса в комплексной терапии бронхопневмонии телят сокращает длительность и тяжесть течения заболевания.

Ключевые слова: ветеринария, бронхопневмония, телята, лечение, крупный рогатый скот, кровь

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF SUBSTITUTION THERAPY PREPARATIONS IN BRONCHOPNEUMONIA OF CALVES

✉ Trebukhov A.V., Bagina V.O., Demeneva A.E.

Altai State Agricultural University
Barnaul, Russia

✉ e-mail: aleks_tav@mail.ru

The results of research on the methods of bronchopneumonia treatment of young cattle are presented. It is noted that the disease is associated with the effect of a number of different etiological conditions (lower air temperature, air humidification, and air pollution, etc.) on the animal's body. Bronchopneumonia of calves is registered at livestock complexes in cold and wet seasons as a seasonal disease. In this regard, the development of effective treatment schemes for this pathology is an urgent task. The effectiveness of the use of substitution therapy preparations in the treatment of bronchopneumonia of calves was studied. The study was conducted at a farm in the Altai Territory in the autumn period. For realization of this experiment two equal groups (experimental and control) of 5 calves in each were formed according to the principle of analogies. The treatment regimen for both groups included Resflor and Loxic 2% preparations. Calves of the control group received VitOkey as a substitution therapy, the experimental group – Vitam. Clinical signs and blood morphologic analysis were evaluated during the experiment. Clinical examination of the calves showed the following signs: elevated body temperature, wheezing, coughing, foci of blunting in the lungs in the anterior and posterior lobes, apathy, nasal discharge, loss of appetite, erythropenia (up to $(4.6 \pm 0.2) \times 10^{12}/l$), leukocytosis (up to

$(16.5 \pm 0.6) \times 10^9/l$), increased ECR (up to 1.2 ± 0.1 mm/h), neutrophilic leukocytosis with a leftward shift of the nucleus, and monocytopenia. By the 5th day of treatment, the calves of the experimental group had no pulmonary rales, coughing, and the body temperature was within normal limits. On the 7th day, there was an increase in erythrocytes $((6.4 \pm 0.3) \times 10^{12}/l)$, a decrease in leukocytes $((10.6 \pm 0.3) \times 10^9/l)$ and ESR (0.4 ± 0.1 mm/h). The use of vitamin-amino acid complex in complex therapy of bronchopneumonia of calves reduces the duration and severity of the course of the disease.

Keywords: veterinary medicine, bronchopneumonia, calves, treatment, cattle, blood

Для цитирования: Требухов А.В., Багина В.О., Деменёва А.Е. Сравнение эффективности применения препаратов заместительной терапии при бронхопневмонии телят // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 94–100. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-11>

For citation: Trebukhov A.V., Bagina V.O., Demeneva A.E. Comparison of the effectiveness of substitution therapy preparations in bronchopneumonia of calves. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 94–100. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из стратегических задач сельскохозяйственной отрасли является обеспечение населения страны высококачественной животноводческой продукцией. Увеличение объемов продукции достигается в том числе посредством ускорения обменных процессов в организме выращиваемых животных. Однако это приводит к увеличению риска нарушения гомеостаза и развитию различных патологий как у взрослого скота, так и у молодняка [1–3]. Болезни респираторных органов занимают у молодняка сельскохозяйственных животных второе место среди всех патологий, после заболеваний желудочно-кишечного тракта [4, 5]. Самое распространенное среди респираторных заболеваний – бронхопневмония [6, 7]. Бронхопневмония телят регистрируется на животноводческих комплексах в холодное и сырое время года как сезонное заболевание [8, 9]. Это классическое факторное заболевание, которое вызывается совместным воздействием инфекционных патогенов и неблагоприятных факторов окружающей среды [10–12]. Диагноз ставят на основании клинических признаков и анализов крови [13–20]. В связи с этим разработка эффективных схем лечения данной патологии является актуальной задачей.

Цель исследования – изучить эффективность применения препаратов заместительной терапии при лечении бронхопневмонии телят.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в хозяйстве ООО «Мичуринец» в с. Алтайское Алтайского края в осенний период. Для эксперимента отобрано 10 телят черно-пестрой породы 3-месячного возраста и живой массой $102 \pm 9,1$ кг. Бронхопневмонию выявляли, опираясь на специфическую для данного заболевания клиническую картину: повышенная температура тела, хрипы, кашель, очаги притупления в легких в области передних и задних долей, апатичность, истечения из носа, потеря аппетита. Все телята находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Для проведения эксперимента отобранный молодняк крупного рогатого скота поделили на две группы: контрольную и опытную. Телят контрольной группы лечили в соответствии со схемой терапии, используемой на хозяйстве, с включением препарата ВитОкей, который использовали в дозе 2 мл/10 кг массы тела животного (1 раз в день, внутримышечно, каждые 24 ч). В схему лечения обеих групп входили: антибактериальный препарат Ресфлор в дозе 10 мл (1 раз в день, подкожно, каждые 48 ч); нестероидное противовоспалительное средство Локсик 2% в дозе 2,5 мл/100 кг массы тела животного (1 раз в день подкожно каждые 24 ч). В схеме лечения опытной группы применяли ту же схему терапии, но препарат ВитОкей заменен на препарат Витам в дозе 3 мл/10 кг массы тела животного

(1 раз в день внутримышечно каждые 24 ч). ВитОкей – комбинированный витаминный препарат для профилактики и лечения гиповитаминозов и заболеваний, развивающихся на их фоне у животных. ВитОкей в 1 мл в качестве действующих веществ содержит витамин А (10 000 МЕ), витамин D3 (2000 МЕ), витамин Е (10 мг), витамин К (2), витамин В1 (10), витамин В2 (4), витамин В6 (3 мг), витамин В12 (10 мкг), никотинамид (30 мг), кальция пантотенат (20), фолиевую кислоту (0,2 мг), биотин (10 мкг), а также вспомогательные вещества: гидролизат белка лактальбумин, нипагин, глюкозу, твин-80 и воду для инъекций. Ресфлор – лекарственное средство, предназначенное для лечения болезней бактериальной этиологии и купирования воспалительных процессов у крупного рогатого скота. В качестве действующего вещества в 1 см³ препарат содержит 27,4 мг флуниксина меглумина (что соответствует 16,5 мг флуниксина) и 300 мг флорфеникола, в качестве вспомогательных веществ – N-метил-2-пирролидон, пропиленгликоль, ангидрид лимонной кислоты и полиэтиленгликоль. Локсик 2% – лекарственный препарат, предназначенный для лечения воспалений различной этиологии у животных. В 1 мл Локсик 2% в качестве действующего вещества содержится 20 мг мелоксикама, а также вспомогательные вещества (до 1 мл). Мелоксикам, входящий в состав лекарственного препарата, обладает выраженной противовоспалительной и анальгетической активностью. Витаминно-аминокислотный комплекс Витам относится к комплексным витаминсодержащим средствам для сельскохозяйственных животных. Препарат содержит комплекс биологически активных веществ, благодаря которым оптимизирует обменные процессы в организме, нормализует формулу крови, повышает бактерицидную активность сыворотки крови, оказывает иммуномодулирующее и общее биотонизирующее действие. В качестве действующих веществ препарат содержит аргинин гидрохлорид (60 мг), лизин гидрохлорид (60), изолейцин (17,3), лейцин (52), метионин (13), фенилаланин (21,5), треонин (26), триптофан (8,6), глутамин (86), валин (21,5),

тирозин (34,6), цистин гидрохлорид (22,4), серин (21,5), глицин (43), альфа-аланин (21,5), пролин (32,0), аспарагиновую кислоту (26), оксипролин (8,6), глутаминовую кислоту (60 мг) и др. В качестве вспомогательных веществ препарат содержит следующие компоненты: аскорбиновую кислоту (0,075 мг), натрий хлористый (8000 мг), калий хлористый (400), магний хлористый (106), натрий фосфорнокислый (121), натрий углекислый (600), кальций хлористый (276), магний сернокислый (100), натрий уксуснокислый (79,3), калий фосфорнокислый (60 мг), феноловый красный. У телят обеих групп взята кровь для морфологического анализа. При морфологическом исследовании крови определяли: количественное содержание эритроцитов, лейкоцитов и гемоглобина, скорость оседания эритроцитов и процентное соотношение видов лейкоцитов. Лабораторные исследования крови осуществляли на ветеринарном гематологическом анализаторе Mindray BC-2800 Vet (Китай) и на биохимическом анализаторе Pointcare V3 (Япония). Все клинические и лабораторные исследования были проведены в 2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В начале эксперимента у телят обеих групп наблюдалась апатия, пониженный аппетит. У животных присутствовала гиперемия видимых слизистых оболочек, серозно-слизистые истечения из носовой полости. При проведении аускультации легких у телят отмечали везикулярное дыхание, влажные хрипы. Кашель сначала был сухим, затем стал влажным. Перкуссией легких установлены очаги притупления передних и задних долей. Дыхание учащенное, затрудненное. Результаты морфологических исследований крови представлены в табл. 1.

Результаты исследований лейкограммы крови телят исследуемых групп представлены в табл. 2.

Анализ табл. 1, 2 свидетельствует, что в крови телят обеих групп до начала лечения отмечены снижение количества эритроцитов в крови и ускоренное СОЭ, лейкоцитоз, ге-

Табл. 1. Морфологические показатели крови ($M \pm m$, $n = 10$)

Table 1. Morphological parameters of blood ($M \pm m$, $n = 10$)

Показатель	Группа животных	До начала лечения	На 7-й день лечения	Физиологическая норма по А.П. Демидовичу ¹
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	Опытная	$4,7 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,3^{***}$	5–10
	Контрольная	$4,6 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,1$	
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	Опытная	$15,8 \pm 0,7$	$10,6 \pm 0,3^{**}$	4–12
	Контрольная	$16,5 \pm 0,6$	$11,7 \pm 0,4^{**}$	
Гемоглобин, г/л	Опытная	$109,6 \pm 5,3$	$116,7 \pm 5,8$	80–150
	Контрольная	$107,4 \pm 4,6$	$113,6 \pm 5,6$	
СОЭ, мм/ч	Опытная	$1,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1^{**}$	0,1–0,6
	Контрольная	$1,1 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	

Здесь и в табл. 2. $*p < 0,05$ между группами.

$***p < 0,05$ относительно исходных данных.

Табл. 2. Лейкограмма телят, больных бронхопневмонией ($M \pm m$, $n = 10$), %

Table 2. Leukogram of the calves with bronchopneumonia ($M \pm m$, $n = 10$), %

Группа	Э	Нейтрофилы			Л	М
		Ю	П	С		
Опытная Контрольная	Физиологическая норма по А.П. Демидовичу (см. сноску 1)					
	2–20	0–1	0–2	15–45	45–75	3–10
	До начала лечения					
	2,6 ± 1,3	3,6 ± 1,1	1,2 ± 0,7	30,2 ± 0,4	55,4 ± 5,8	1,2 ± 1,2
	2,4 ± 0,5	4,0 ± 1,5	1,2 ± 0,8	29,4 ± 0,5	55,6 ± 4,7	1,6 ± 1,1
	На 7-й день после начала лечения					
	5,0 ± 1,5*	0,2 ± 0,4	0,8 ± 1,1	34,2 ± 4,2	56,3 ± 8,2*	5,6 ± 0,8*
	3,4 ± 1,1	1,2 ± 1,3	1,4 ± 1,2	31,1 ± 3,6	57,4 ± 7,1	3,2 ± 1,8

моглобин находился на нижней границе нормы (см. табл. 1). На лейкограмме наблюдается нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом ядра влево, что свидетельствует об остром течении болезни. У животных обеих групп была установлена моноцитопения (см. табл. 2). Указанные изменения, по нашему мнению, связаны с воздействием на органы кроветворения различных токсинов и недоокисленных продуктов обмена, возникших в процессе патогенеза бронхопневмонии.

Во время лечения животных подвергали ежедневному клиническому осмотру. Одним из показателей эффективности схемы лече-

ния опытной группы являлось ослабление специфических признаков заболевания, а также морфологических показателей крови.

Так, в ходе лечения у телят опытной группы уже на 5-е сутки улучшилось дыхание, при аускультации хрипы не выявлялись, кашель отсутствовал, температура тела варьировала в физиологических пределах, появился аппетит. По результатам морфологического исследования крови на 7-й день после начала лечения бронхопневмонии у телят опытной группы наблюдали увеличение содержания эритроцитов относительно исходных данных на 36% ($p < 0,05$), снижение количества лей-

¹Демидович А.П. Диагностическое значение биохимических показателей крови (белковый, углеводный, липидный обмен), учебно-методическое пособие для студентов по специальности «Ветеринарная медицина» // Витебская государственная академия ветеринарной медицины. Витебск: ВГАВМ, 2019. С. 32.

коцитов – на 33% ($p < 0,05$), показатель СОЭ снизился в 3 раза ($p < 0,05$) и достиг физиологической нормы.

У телят контрольной группы видимое ослабление клинических признаков началось только на 7-й день. У телят контроля количество эритроцитов относительно первого исследования увеличилось на 13%, содержание лейкоцитов снизилось на 29% ($p < 0,05$), СОЭ находилось на верхней физиологической границе ($0,5 \pm 0,2$). На 10-й день животные контрольной группы были клинически здоровы.

Среднегрупповые значения к 7-му дню лечения были достоверно выше в опытной группе относительно контрольной по количеству эритроцитов на 23% ($p < 0,05$), эозинофилов на 47% ($p < 0,05$), моноцитов в 1,8 раза ($p < 0,05$), а по содержанию лейкоцитов, напротив, ниже на 9,4% ($p < 0,05$). Количество сегментоядерных нейтрофилов было также в этот период выше в крови опытных телят на 10%, гемоглобина на 3%, а содержание юных нейтрофилов, палочкоядерных нейтрофилов, СОЭ, лимфоцитов было ниже соответственно на 83,3; 9,4; 43,0; 20,0%, но достоверных различий между группами отмечено не было.

Таким образом, у опытной группы телят к 7-му дню исследования не только клинические признаки, но и результаты общего анализа крови свидетельствовали об эффективности применения препарата Витам в комплексной терапии бронхопневмонии телят.

ВЫВОДЫ

1. Клинически бронхопневмония телят проявлялась следующим образом: апатией, пониженным аппетитом, серозно-слизистыми истечениями из носовых ходов, сухим кашлем, влажными хрипами и очагами притупления в передних и задних долях легких.

2. В крови при бронхопневмонии телят отмечаются эритропения (до $(4,6 \pm 0,2) \times 10^{12}/л$), лейкоцитоз (до $(16,5 \pm 0,6) \times 10^9/л$), повышение СОЭ (до $1,2 \pm 0,1$ мм/ч), нейтрофильный лейкоцитоз со сдвигом ядра влево и моноцитопения.

3. Применение витаминно-аминокислотного комплекса в терапии бронхопневмонии способствовало улучшению клинического

статуса на 5-е сутки (отсутствовали кашель, хрип в легких, появился аппетит), на 7-е сутки отмечена положительная тенденция в изменениях основных морфологических показателей крови (повышение эритроцитов, снижение количества лейкоцитов, восстановление до физиологического значения показателя СОЭ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antonov V., Ignatova G. The effectiveness of vaccine prophylaxis of conjugated pneumococcal vaccine in patients with chronic obstructive pulmonary disease for 5 years of observation // *Allergy*. 2018. Vol. 73. N S105. P. 478–479. DOI: 10.1111/all.13539.
2. Chernitskiy A., Shabunin S., Kuchmenko T., Safonov V. On-farm diagnosis of latent respiratory failure in calves // *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2019. Vol. 43. N 6. С. 707–715.
3. Алехин Ю.Н., Жуков М.С., Клементьева И.Ф., Моргунова В.И. Сравнительная оценка состава секрета верхних и нижних дыхательных путей у клинически здоровых и больных бронхопневмонией телят // *Ученые записки УО ВГАВМ*. 2018. Т. 54. № 4. С. 3–6.
4. Витковский М.И., Турицына Е.Г. Особенности клинико-морфологического проявления бронхопневмонии у телят // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2018. № 6 (141). С. 80–83.
5. Галиуллин А.К., Залялов И.Н., Гумеров В.Г., Гершиш А., Константинова И.С., Булатова Э.Н., Кириллов Е.Г., Заикина Е.А. Гистологический анализ легких и легочных лимфоузлов у телят респираторной формой болезни // *Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана*. 2021. № 2. С. 35–42. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-246-2-35-42.
6. Гурова С.В., Аксенова В.М. Диагностическое значение цитологического исследования носового и плоточного содержимого для определения степени тяжести бронхопневмонии у телят // *Ветеринарная патология*. 2021. № 3 (77). С. 19–24. DOI: 10.25690/VETRAT.2021.43.30.003.
7. Гурова С.В., Аксенова В.М. Современные подходы к диагностике степени тяжести бронхопневмонии телят // *Пермский аграрный вестник*. 2022. № 2 (38). С. 112–117.

8. Дьякова В.В., Терентьева Н.Ю., Ермолаев В.А., Иванова С.Н., Ляшенко П.М. Диагностика и лечение бронхопневмонии телят, вызванной *Mycoplasma bovis* // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2020. № 2. С. 54–61.
9. Зухрабов М.Г., Хайбулаева С.К., Абдулхамидова С.В., Чубуркова С.С., Бекмурзаева И.Х., Зухрабова З.М. Опыт лечения неспецифической бронхопневмонии телят // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2018. Т. 233 (I). С. 60–64.
10. Калюжный И.И., Эленцлегер А.А., Попов С.В. Эффективность комплексной терапии неспецифической бронхопневмонии у телят // Вестник АГАУ. 2019. № 7 (177). С. 89–96.
11. Никулина Н.Б. Анализ эффективности антибиотикотерапии при бронхопневмонии телят // Пермский аграрный вестник. 2021. № 3 (35). С. 109–117.
12. Полозюк О.Н., Лапина Т.И. Современные методы лечения бронхопневмонии телят в условиях животноводческих комплексов // Аграрный научный журнал. 2019. № 3. С. 37–40. DOI: 10.28983/asj.y2019i3pp37-40.
13. Сергеева Н.Н., Дедкова А.И. Эффективность различных схем лечения бронхопневмонии телят // Вестник аграрной науки. 2021. № 5 (92). С. 64–68. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.5.64.
14. Староселов М.А., Басова Н.Ю., Схатум А.К. Параметры системного иммунитета респираторного тракта у больных и здоровых телят // Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2020. № 2. С. 156–159.
15. Требухов А.В. Изменение биохимических показателей крови у коров и телят при нарушении углеводного и жирового обмена // Ветеринария. 2021. № 5. С. 50–54. DOI: 10.30896/0042-4846.2021.24.5.50-54.
16. Требухов А.В., Утц С.А. Иммунологический статус крови и молока у коров после применения пробиотика // Вестник Ульяновской ГСХА. 2022. № 2 (58). С. 135–140. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-2-135-140.
17. Филипов И.Г., Чеходарики Ф.Н. Бронхопневмония телят (диагностика, симптоматика, лечение) // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2022. № 1. С. 218–223.
18. Черницкий А.Е., Ефимова К.А., Сафонов В.А. Диагностика бронхопневмонии у телят в условиях фермы // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 5. С. 59–64.
19. Шоболев С.В., Марьин Е.М., Калязина Н.Ю. Биохимический профиль крови у телят, боль-

ных бронхопневмонией // Вестник Ульяновской ГСХА. 2022. № 3 (59). С. 160–163.

20. Яруллина Э.С., Медетханов Ф.А. Комплексный подход к лечению респираторных болезней телят // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2020. Т. 242 (II). С. 222–226.

REFERENCES

1. Antonov V., Ignatova G. The effectiveness of vaccine prophylaxis of conjugated pneumococcal vaccine in patients with chronic obstructive pulmonary disease for 5 years of observation. *Allergy*, 2018, vol. 73, no. S105, pp. 478–479. DOI: 10.1111/all.13539.
2. Chernitskiy A., Shabunin S., Kuchmenko T., Safonov V. On-farm diagnosis of latent respiratory failure in calves. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2019, vol. 43, no. 6, pp. 707–715.
3. Alekhin Yu.N., Zhukov M.S., Klement'eva I.F., Morgunova V.I. Comparative evaluation of the secretion of the upper and lower respiratory tract secretions in clinically healthy and sick with bronchopneumonia calves. *Uchenye zapiski UO VGAVM = Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine"*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 3–6. (In Russian).
4. Vitkovskij M.I., Turicyna E.G. Features of clinical and morphological manifestations of bronchopneumonia in calves. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = The Bulletin of KrasGAU*, 2018 no. 6 (141), pp. 80–83. (In Russian).
5. Galiullin A.K., Zalyalov I.N., Gumerov V.G., Gerish A., Konstantinova I.S., Bulatova E.N., Kirillov E.G., Zaikina E.A. Histological analysis of lungs and pulmonary lymph nodes in calves with the respiratory disease. *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2021, no. 2, pp. 35–42. (In Russian). DOI: 10.31588/2413-4201-1883-246-2-35-42.
6. Gurova S.V., Aksenova V.M. Diagnostic significance of cytological study of nasal and pharyngeal secretion for determining the degree of the severity of bronchopneumonia in calves. *Veterinarnaya patologiya = Veterinary pathology*, 2021, no. 3 (77), pp. 19–24. (In Russian). DOI: 10.25690/VETPAT.2021.43.30.003.
7. Gurova S.V., Aksenova V.M. Modern approaches to the diagnostics of the severity of bronchopneumonia in calves. *Permskii agrarnyi vest-*

- nik = *Perm Agrarian Journal*, 2022, no. 2 (38), pp. 112–117. (In Russian).
8. D'yakova V.V., Terent'eva N.Yu., Ermolaev V.A., Ivanova S.N., Lyashenko P.M. Diagnosis and treatment of calf bronchopneumonia caused by mycoplasma bovis. *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2020, no. 2, pp. 54–61. (In Russian).
 9. Zuhrafov M.G., Hajbulaeva S.K., Abdulhamidova S.V., Chuburkova S.S., Bekmurzaeva I.H., Zuhrafova Z.M. Experience in the treatment of nonspecific bronchopneumonia of calves. *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2018, vol. 233 (I), pp. 60–64. (In Russian).
 10. Kalyuzhnyi I.I., Elenshleger A.A., Popov S.V. Effectiveness of complex therapy of nonspecific bronchopneumonia in calves. *Vestnik AGAU = Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2019, no. 7 (177), pp. 89–96. (In Russian).
 11. Nikulina N.B. Analysis of effectiveness of antibiotic therapy for bronchopneumonia in calves. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal*, 2021, no. 3 (35), pp. 109–117. (In Russian).
 12. Polozyuk O.N., Lapina T.I. Modern methods of treatment of bronchopneumonia in calves in livestock breeding complexes. *Agrarnyj nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*, 2019, no. 3, pp. 37–40. (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i3pp37-40.
 13. Sergeeva N.N., Dedkova A.I. The efficacy of different treatment schemes for bronchopneumonia of calves. *Vestnik agrarnoi nauki = Bulletin of Agrarian Science*, 2021, no. 5 (92), pp. 64–68. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.5.64.
 14. Staroselov M.A., Basova N.Yu., Skhatum A.K. Parameters of systemic immunity of the respiratory tract in sick and healthy calves. *Sbornik nauchnykh trudov SKNIIZh = Collection of Scientific Papers of the North Caucasian Research Institute of Animal Husbandry*, 2020, no. 2, pp. 156–159. (In Russian).
 15. Trebukhov A.V. Interconnection of changes in biochemical parameters of blood with pathology of carbohydrate and fat metabolism in cows and calves. *Veterinariya = Veterinary medicine*, 2021, no. 5, pp. 50–54. (In Russian). DOI: 10.30896/0042-4846.2021.24.5.50-54.
 16. Trebukhov A.V., Utc S.A. Immunological status of blood and milk in cows after application of probiotic. *Vestnik Ul'yanovskoi GSKhA = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2022, no. 2 (58), pp. 135–140. (In Russian). DOI: 10.18286/1816-4501-2022-2-135-140.
 17. Filipov I.G., Chekhodaridi F.N. Bronchopneumonia of calves (diagnosis, symptoms, treatment). *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2022, no. 1, pp. 218–223. (In Russian).
 18. Chernitskii A.E., Efimova K.A., Safonov V.A. Diagnosis of bronchopneumonia in calves in farm conditions. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2021, no. 5, pp. 59–64. (In Russian).
 19. Shobolev S.V., Mar'in E.M., Kalyazina N.Yu. Biochemical profile of blood in calves, patient bronchopneumonia. *Vestnik Ul'yanovskoi GSKhA = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2022, no. 3 (59), pp. 160–163. (In Russian).
 20. Yarullina E.S., Medethanov F.A. Comprehensive approach to the treatment of respiratory diseases of calves. *Uchenye zapiski KGAVM im. N.E. Bauman = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2020, vol. 242 (II), pp. 222–226. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Требухов А.В.**, доктор ветеринарных наук, доцент, заведующий кафедрой; **адрес для переписки:** Россия, 656922, Барнаул, ул. Попова, 276; e-mail: aleks_tav@mail.ru

Багина В.О., студент

Деменёва А.Е., студент

AUTHOR INFORMATION

✉ **Aleksey V. Trebukhov**, Doctor of Veterinary Medicine, Associate Professor, Department Head; **address:** 276, Popova St., Barnaul, 656922, Russia; e-mail: aleks_tav@mail.ru

Valentina O. Bagina, Student

Alina E. Demeneva, Student

Дата поступления статьи / Received by the editors 03.04.2023
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 20.06.2023
Дата публикации / Published 20.10.2023

ПОДХОДЫ К РЕДАКТИРОВАНИЮ ГЕНОМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Донник И.М., Макутина В.А., Кривоногова А.С., ✉Исаева А.Г., Дейкин А.В., Кощаев А.Г.

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук

Екатеринбург, Россия

✉e-mail: isaeva.05@bk.ru

Представлены результаты исследования генетических методов создания сельскохозяйственных животных с улучшенными характеристиками. В настоящее время получено значительное количество животных с отредактированным геномом. Методы модификации генома у крупного рогатого скота (КРС) постоянно совершенствуются. Изучены подходы генного редактирования эмбрионов крупного рогатого скота, доставки отредактированных конструкций, повышения выживаемости эмбрионов после внесения систем редактирования. Исследования проводили на эмбрионах КРС. Разработаны и апробированы системы редактирования генов BLG и CD209. Изучены варианты доставки системы редактирования в клетки КРС: микроинъекция в зиготу плазмидной ДНК с закодированной последовательностью с CRISPR/Cas9 с sgRNA, способ вирусных векторов (аденоассоциированные вирусы AAV, серотипы AAV1, AAV2, AAV6, AAV9, AAVDJ), совместное введение плазмидной ДНК и сперматозоида в ооцит на стадии МII, а также микроинъекции РНК Cas9 и гидовых РНК. Исследованы и усовершенствованы различные методики выполнения микроинъекций и опробованы различные варианты приготовления смеси РНК Cas9 и гидовых РНК. На основе полученных результатов оптимизирован протокол выполнения микроинъекции системы редактирования и проведен модельный эксперимент на 160 ооцитах, по 80 клеток на каждую конструкцию. В результате установили, что эффективность редактирования в целом повысилась. При инъекции гидовой РНК против гена BLG и мРНК spCas9 дробление начали 84% выживших клеток, бластуляция составила 20%, оказались с нокаутом по BLG – 69,2%. При инъекции против гена CD209 и мРНК spCas9 дробление начали 44,4% выживших эмбрионов, бластуляция составила 16,7%, с нокаутом по CD209 – 44,4%. Новизна работы заключается в получении данных о разработке систем редактирования с определенными генами-мишенями, в усовершенствовании системы доставки и культивирования эмбрионов КРС.

Ключевые слова: CRISPR/Cas9, доставка систем редактирования, вирусный вектор, микроинъекции РНК, доимплантационные эмбрионы КРС

APPROACHES TO GENOME EDITING IN AGRICULTURAL ANIMALS

Donnik I.M., Makutina V.A., Krivonogova A.S., ✉Isaeva A.G., Deikin A.V., Kotschaev A.G.

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

Ekaterinburg, Russia

✉e-mail: isaeva.05@bk.ru

The results of research into genetic methods of breeding agricultural animals with improved characteristics are presented. By now a significant number of animals with an edited genome have been selected. Methods of genome modification in cattle are constantly improving. The approaches of gene editing of bovine embryos, delivery of edited constructs and improvement of embryo survival after introduction of editing systems have been studied. The studies were performed on cattle embryos. BLG and SD209 gene editing systems were developed and validated. Delivery options of the editing system into cattle cells were studied: microinjection into the zygote of plasmid DNA encoded sequence with CRISPR/Cas9 с sgRNA, the method of viral vectors (adeno-associated AAV viruses, serotypes AAV1, AAV2, AAV6, AAV9, AAVDJ), co-injection of plasmid DNA and sperm into the oocyte at the MII stage, and microinjection of Cas9 and guide RNAs. Different techniques for performing microinjections have been investigated and refined, and different preparation of Cas9 RNA and guide RNA mixtures have been tested. Based on these results, the protocol for performing microinjection of the

editing system was optimized and a model experiment was performed on 160 oocytes, with 80 cells per each construction. The findings have shown that the efficiency of editing has generally improved. When injected with guide RNA against BLG gene and spCas9 mRNA, 84% of the surviving cells initiated cleavage, blastulation was 20%, and BLG knockout was 69.2%. When injected against the CD209 gene and spCas9 mRNA, 44.4% of the surviving embryos started cleavage, blastulation was 16.7%, with CD209 knockout at 44.4%. The novelty of the work lies in obtaining data on the development of editing systems with specific target genes, in improving the delivery system and cultivation of bovine embryos.

Keywords: CRISPR/Cas9, delivery of editing systems, virus vector, microinjections of RNA, pre-implantation bovine embryos

Для цитирования: Донник И.М., Макутина В.А., Кривоногова А.С., Исаева А.Г., Дейкин А.В., Коцаев А.Г. Подходы к редактированию генома сельскохозяйственных животных // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 101–110. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-12>

For citation: Donnik I.M., Makutina V.A., Krivonogova A.S., Isaeva A.G., Deykin A.V., Kotschaev A.G. Approaches to genome editing in agricultural animals. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 101–110. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-12>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-76-10022).

Acknowledgements

The research was supported by the Russian Science Foundation Grant (project № 19-76-10022).

ВВЕДЕНИЕ

Методы редактирования генов позволяют вносить точные и заданные модификации в геном домашнего скота. Редактирование генома у коз и свиней в настоящее время достаточно эффективно производится с использованием SCNT (перенос ядра соматической клетки) через CRISPR/Cas9-отредактированные клетки [1, 2]. Эффективность геномного редактирования при этом около 60% [1, 3]. У мышей, обезьян, собак и кроликов чаще используется другой метод, заключающийся в прямой инъекции системы редактирования в цитоплазму эмбрионов на стадии одноклеточной зиготы [4, 5]. Показано, что введение конструкций CRISPR/Cas9 непосредственно в зиготы может приводить к получению потомства с заданными признаками. Однако серьезной проблемой при использовании та-

кого подхода является генетический мозаицизм, возникающий у потомства [6]. Одним из предлагаемых способов устранения мозаицизма является раннее введение системы CRISPR/Cas9 на стадии метафазы II ооцита или на стадии ранней зиготы сразу после формирования пронуклеусов [7].

Сообщалось об эффективной микроинъекции генов гормона роста и инсулиноподобного фактора роста I в зиготы свиней. Позже две линии трансгенных свиней, экспрессирующих гормон роста, набрали на 11,1 и 13,7% больше массы, чем контрольные свиньи^{1, 2}.

Также целью исследований является ген белка миостатина. Обнаружено, что снижение экспрессии гена миостатина (также известного как GDF8 или фактор дифференцировки роста 8) приводит к усилению роста мышц. Даже однонуклеотидные по-

¹Pursel V.G., Bolt D.J., Miller K.F., Pinkert C.A., Hammer R.E., Palmiter R.D., Brinster R.L. Expression of Growth Hormone Transgenes in Swine. *J. Reprod. Fertil.* 1990. Vol. 40. P. 235–245.

²Pursel V.G., Wall R.J., Mitchell A.D., Elsasser T.H., Solomon M.B., Coleman M.E., DeMayo F., Schwartz R.J. Transgenic Animals in Agriculture. U.S. Department of Agriculture; Washington, DC, USA. Expression of insulin-like growth factor-I in skeletal muscle of transgenic swine. 1999.

лиморфизмы в гене миостатина запускают значительные изменения³. В настоящее время получено большое количество животных с отредактированным геномом, в том числе свиньи с отредактированным геном MSTN (миостатина), свиньи с отредактированным геном анти-PRRS (репродуктивно-респираторным синдромом свиней) и устойчивы к туберкулезу трансгенный крупный рогатый скот⁴⁻⁶. Эти генетически модифицированные/отредактированные сельскохозяйственные животные продемонстрировали улучшение в наборе веса или устойчивости к болезням и другие полезные качества.

Методы модификации генома (особенно ZFN и TALEN) у КРС постоянно совершенствуются⁷. Технология TALEN использовалась, например, для вставки гена SP110 в геном КРС, в результате чего был получен трансгенный скот, устойчивый к туберкулезу⁸.

Кроме того, с использованием подходов ZFN и TALEN изменен с хорошей эффективностью ген β -лактоглобулина (LGB) у эмбрионов крупного рогатого скота⁹. С использованием TALEN был создан крупный рогатый скот с нокаутом гена MSTN. TALEN также использовали для элиминации аллели POLLED у голштинского скота и получения безрогого молочного скота¹⁰.

Значительная доля работ по модификации генома выполнена на культурах клеток, в частности, включение NRAMP1 с помощью CRISPR/Cas9 в фибробласты плода для создания устойчивого к туберкулезу генетически модифицированного крупного рогатого скота¹¹. В другом исследовании выполнен нокаут гена PRNP, который кодирует инфекционный белок PrPSc, вызывающий заболевания у КРС и человека (губчатая энцефалопатия КРС, болезнь Крейтцфельда-Якоба и хроническое истощение у оленей) в фибробластах плода и в ранних эмбрионах. При бруцеллезе проведена трансдукция инфицированных клеток лентивирусными векторами, содержащими систему редактирования генов CRISPR/Cas9, для инактивации гена, участвующего в репликации бруцелл в клетках-хозяевах, получено достоверное повышение устойчивости клеток культуры к инфицированию бруцеллезом¹² [8].

В настоящее время достигнут значительный прогресс в методологии редактирования генома с использованием ДНК-нуклеаз. Существует четыре основных типа технологий на основе запрограммированных нуклеаз: мегануклеазы, нуклеазы «цинковые пальцы» (ZFN), эндонуклеазы, подобные активаторам транскрипции (TALEN), и кластеризованные

³Grobet L., Martin L.J.R., Poncelet D., Pirottin D., Brouwers B., Riquet J., Schoeberlein A., Dunner S., Ménérier F., Massabanda J. et al. A deletion in the bovine myostatin gene causes the double-muscling phenotype in cattle // Nat. Genet. 1997. Vol. 17. P. 71–74. DOI: 10.1038/ng0997-71.

⁴Burkard C., Lillico S.G., Reid E., Jackson B., Mileham A.J., Ait-Ali T., Whitelaw C.B.A., Archibald A.L. Pre-cision engineering for PRRSV resistance in pigs: Macrophages from genome edited pigs lacking CD163 SRCR5 domain are fully resistant to both PRRSV genotypes while maintaining biological function. PLoS Pathog. 2017. Vol. 13. P. e1006206. DOI: 10.1371/journal.ppat.1006206.

⁵Gao Y., Wu H., Wang Y., Liu X., Chen L., Li Q., Cui C., Liu X., Zhang J., Zhang Y. Single Cas9 nickase induced generation of NRAMP1 knockin cattle with reduced off-target effects. Genome Biol. 2017. Vol. 18. P. 13. DOI: 10.1186/s13059-016-1144-4.

⁶Wang K., Ouyang H., Xie Z., Yao C., Guo N., Li M., Jiao H., Pang D. Efficient Generation of Myostatin Mutations in Pigs Using the CRISPR/Cas9 System. Sci. Rep. 2015. Vol. 5. P. 1–11. DOI: 10.1038/srep16623.

⁷Liu Z., Foot R.H. Development of bovine embryos in KSMO with added superoxide dismutase and taurine and with five and twenty percent O2. Biol Reprod. 1995. Vol. 56. P. 786–790.

⁸Wu Y., Zhou H., Fan X. et al. Correction of a genetic disease by CRISPR-Cas9-mediated gene editing in mouse spermatogonial stem cells // Cell Res. 2015. Vol. 25. P. 67–79.

⁹Wei J., Wagner S., Lu D., Maclean P., Carlson D.F., Fahrenkrug S.C., Laible G. Efficient introgression of allelic variants by embryo-mediated editing of the bovine genome // Sci. Rep. 2015. Vol. 5. P. 1–12. DOI: 10.1038/srep11735.

¹⁰Carlson D.F., Lancto C.A., Zang B., Kim E., Walton M., Oldenscote D., Seabury C., Sonstegard T.S., Fahrenkrug S.C. Production of hornless dairy cattle from genome-edited cell lines. Nat. Biotechnol. 2016. Vol. 34. P. 479–481.

¹¹Gao Y., Wu H., Wang Y., Liu X., Chen L., Li Q., Cui C., Liu X., Zhang J., Zhang Y. Single Cas9 nickase induced generation of NRAMP1 knockin cattle with reduced off-target effects. Genome Biol. 2017. Vol. 18. P. 13. DOI: 10.1186/s13059-016-1144-4.

¹²Liu X., Wang Y., Tian Y., Yu Y., Gao M., Hu G., Su F., Pan S., Luo Y., Guo Z., Quan F., Zhang Y. Generation of mastitis resistance in cows by targeting human lysozyme gene to β -casein locus using zinc-finger nucleases // Proc. Biol. Sci. 2014. Vol. 281. P. 20133368.

регулярно расположенные короткие палиндромные повторы Cas9 (CRISPR/Cas9). Эти инструменты редактирования генома способны точно разрезать ДНК в заданной последовательности нуклеотидов¹³.

Система CRISPR/Cas9 наиболее привлекательна для использования в первую очередь потому, что она является относительно простым, эффективным и экономически наиболее дешевым методом редактирования генома. Поэтому использование технологии CRISPR/Cas9 сделало генное редактирование сельскохозяйственных животных более доступным, приблизило его к применению в практическом животноводстве.

Однако некоторые эксперты утверждают, что изменение геномов сельскохозяйственных животных для повышения эффективности производства может привести к вторичным последствиям. Так, ускоренный рост мышц при мутации гена миостатина может привести к большему количеству кесаревых сечений, патологиям конечностей и дыхательной системы¹⁴. Наконец, редактирование генома методом переноса ядра соматической клетки может негативно сказаться на благополучии животных: увеличении эмбриональной гибели, постнатальной смертности и врожденных нарушений [9]. Кроме того, редактирование генома может привести к нецелевым мутациям или непредвиденным последствиям, которые будут накапливаться и проявляться в последующих поколениях¹⁵. Однако учитывая многочисленные преимущества технологии, редактирование генома с помощью CRISPR возможно использовать для улучшения пород сельскохозяйственных животных. Изучение и совершенствование любой новой технологии требует времени, но технология CRISPR уже зарекомендовала себя как эффективный исследовательский

инструмент научной деятельности, требующий дальнейшего совершенствования, особенно у продуктивных животных.

Для осуществления доставки системы CRISPR/Cas9 в клетку применяются трансфекция разными способами, трансдукция с помощью вирусов, постоянно изучаются и используются в экспериментальных работах сочетания и модификации различных методов. Для эффективного редактирования генов белковые комплексы CRISPR/Cas9 должны пересекать как клеточную, так и ядерную мембраны. Доставка системы CRISPR/Cas9 внутрь эукариотической клетки может осуществляться посредством вирусных или невирусных векторов и физических манипуляций. Наиболее распространенными методами физической доставки являются трансфекция липосомами и микрочастицами, микроинъекция и электропорация, другие способы: гидродинамическая доставка, генная пушка, импалфеция – в настоящее время активно изучаются и совершенствуются на стадии изучения.

Микроинъекция считается «золотым стандартом» для введения компонентов CRISPR в клетки. Она лучше всего подходит для работы *in vitro* с эмбрионами или культурами клеток. Существует три основных метода микроинъекции: введение ДНК непосредственно в ядро клетки, введение в ядро молекул мРНК, транскрибированных *in vitro*, и введение мРНК в цитоплазму. Эти различные методы имеют преимущества и недостатки (в том числе значительные нецелевые эффекты)¹⁶. Несмотря на травматичность микроинъекций, в ряде случаев с их помощью удалось добиться высокой эффективности редактирования, например одномоментного нокаута четырех генов с помощью одной инъекции в зиготы крыс¹⁷. За небольшими исключениями микроинъекция компонентов

¹³Cox D.B.T., Platt R.J., Zhang F. Therapeutic genome editing: prospects and challenges. *Nature Medicine*, 2015. Vol. 21 (2). P. 121–131.

¹⁴Schultz-Bergin M. Is CRISPR an ethical game changer. *J. Agric. Environ. Ethics*, 2018. Vol. 31. P. 219. DOI: 10.1007/s10806-018-9721-z.

¹⁵Rodriguez E. Ethical issues in genome editing for non-human organisms using CRISPR/Cas9 system. *J. Clin. Res. Bioeth.* 2017. Vol. 8. P. 10. DOI: 10.4172/2155-9627.1000300.

¹⁶ URL: <https://gm.fas.harvard.edu/talen-or-crispr-microinjection>.

¹⁷Ma Y, Shen B, Zhang X, et al. Heritable multiplex genetic engineering in rats using CRISPR/Cas9 // *PLoS One*. 2014. Vol. 9. P. e89413.

РНК CRISPR/Cas9 в клетки приводит к конечной продолжительности действия системы редактирования из-за естественного распада мРНК внутри эукариотических клеток. Микроинъекция является хорошо зарекомендовавшей себя технологией, и ее использование широко распространено [10].

Одним из физических методов доставки генов в популяцию клеток является электропорация. В этом методе используются импульсные электрические токи высокого напряжения для временного открытия пор нанометрового размера в клеточной мембране клеток, взвешенных в буфере, что позволяет компонентам диаметром в десятки нанометров проникать в клетку¹⁸.

Разработан способ доставки системы редактирования с помощью аденоассоциированного вируса (AAV), относящегося к роду *Dependovirus* и семейству *Parvoviridae*. Он представляет использующийся для генной терапии вирус с одноцепочечной ДНК. Вирус способен эффективно инфицировать клетки, практически не вызывая врожденный или адаптивный иммунный ответ или связанную с ним токсичность, по крайней мере при первом использовании данного серотипа [11]. Искусственное удаление из генома вируса последовательностей, ассоциированных с факторами патогенности, а также размеры вирусной ДНК позволяют использовать AAV как контейнер для атравматичной доставки системы редактирования в ядро клеток-мишеней. Благодаря множеству серотипов вируса с широким тропизмом часто удается обойти проблему иммунного ответа на него. Вирусные частицы AAV могут использоваться *in vitro*, *ex vivo* и *in vivo*, что делает их универсальными средствами доставки.

Цель исследования – изучение генетических методов создания сельскохозяйственных животных с улучшенными характеристиками.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовали комплекс лабораторно-клинических методов подготовки

донорского биоматериала, искусственного дозревания и оплодотворения ооцитов, культивирования ранних доимплантационных эмбрионов млекопитающих, криоконсервацию-оттаивание ооцитов и эмбрионов, микроманипуляции на ооцитах, зиготах и ранних эмбрионах животных, а также молекулярно-биологические методы разработки и тестирования эффективности систем редактирования.

Яичники коров отбирали постмортально и транспортировали в лабораторию в контролируемой среде (температура +37,5 °C или +4 °C) в течение 3–4 ч после получения. Аспирацию фолликулов и всю дальнейшую работу с яйцеклетками и эмбрионами проводили в стерильных условиях «чистой зоны» в ламинарных боксах с подогреваемой поверхностью. Для дозревания ооцит-кумулусных комплексов использовали коммерческие среды. Среда для IVM представляла собой среду промышленного производства для культивирования эмбрионов человека Continuous Single Culture Complete (CSCC, Irvine Scientific, США), разработанную для процедур экстракорпорального оплодотворения человека, с добавлением 50 мкг/мл ХГЧ (Хорионический гонадотропин человека, РФ) и 0,5 мкг/мл ФСГ (Гонал, Serono). Для криоконсервирования клеток и эмбрионов KPC использовали наборы *Vitrification Media* (Kitazato, Япония) и соломины *Cryotop* (Kitazato, Япония). Микроманипуляции, в том числе инъекции мРНК в цитоплазму ооцитов проводили на микроманипуляционной установке *Narishige* (Япония). Визуальный анализ выполняли на инвертированных микроскопах *Nikon* (*Nikon Eclipse Ti-U*, Япония) и *Leica* (*DMI3000 B*, Германия), программное обеспечение *OCTAX* (*OCTAX EyeWare with ICSI Guard*, Германия).

Рекомбинантные AAV для трансдукции получены методом тройной трансфекции [11]. Дизайн и синтез гидовых РНК (SgRNA) для микроинъекции осуществляли с помощью онлайн-алгоритма *CRISPOR*, критериями от-

¹⁸Lino C.A., Harper J.C., Carney J.P., Timlin J.A. Delivering CRISPR: a review of the challenges and approaches Drug Deliv. 2018. Vol. 25 (1). P. 1234–1257. DOI: 10.1080/10717544.2018.1474964.

бора гидов были высокий MIT с наименьшим количеством нецелевых сайтов и отсутствие самокомплементарных участков. В качестве мишеней выбраны второй экзон гена CD209 и промотор гена BLG (на сам ген BLG подобрать качественную SgRNA не удалось)^{19, 20}. Анализ эффективности CRISPR проводили поиском разрезов в генах интереса в бластоцистах методом секвенирования по Сэнгеру.

Статистический анализ полученных данных проводили в программах MS Excel и Statistica 10,0 параметрическими и непараметрическими методами. При нормальном распределении использовали *t*-критерий Стьюдента, в остальных случаях при анализе независимых выборок – *U*-критерий (Манна – Уитни), при анализе зависимых выборок – *W*-критерий (Вилкоксона).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Генетическая модификация – это современный подход, который позволяет получать организмы с заданными характеристиками. Однако при работе с крупными сельскохозяйственными животными возможность выявить последствия редактирования генома ограничена тем, что суммарный срок пренатального развития, наступления репродуктивного возраста и последующей беременности у коров превышает 2 года. Кроме того, большинство экономически важных признаков скота носят количественный характер (контролируются многими генами), и, следовательно, улучшение КРС с помощью генетических манипуляций почти всегда требует редактирования генома в нескольких местах. Введение CRISPR/Cas9-ассоциированной РНК в зиготы часто приводит к возникновению мозаицизма^{21–23}. В целом, можно заметить, что у

крупного рогатого скота успешных попыток модификаций генома, давших низкую степень мозаицизма, очень мало.

Нами исследовано несколько вариантов доставки системы редактирования в клетки КРС, включая микроинъекцию в зиготу плазмидной ДНК с закодированной последовательностью с CRISPR/Cas9 с sgRNA, способ вирусных векторов (аденоассоциированные вирусы AAV), совместное введение плазмидной ДНК и сперматозоида в ооцит на стадии МП, а также микроинъекции РНК Cas9 и гидовых РНК.

Видовые особенности строения цитоплазмы ооцита крупного рогатого скота – большое количество липидных включений – значительно затрудняют визуализацию пронуклеусов, поэтому первый способ введения системы редактирования непосредственно в пронуклеус зиготы не дал положительных результатов. Способ доставки с помощью вирусных векторов оказался более эффективным. Предварительно протестировали пять различных серотипов рекомбинантного AAV, в последовательность которых был закодирован ген зеленого флуоресцентного белка (GFP). Затем серотипы AAV1, AAV2, AAV6, AAV9, AAVDJ использовали для получения GFP-положительных эмбрионов КРС.

Всего для этих экспериментов использовали 116 эмбрионов, полученных после оплодотворения ооцитов от 114 коров. Для каждой группы серотипов инфицированных AAV эмбрионов проводили по три независимых эксперимента [12]. Установили, что серотип AAV9 продемонстрировал минимальную эффективность (38,10%) в качестве инструмента переноса генетического материала. Четыре других серотипа AAV (AAV1, AAV2,

¹⁹ Deykin A.V., Kubekina M.V., Silaeva Y.Y., Krivonogova A.S., Isaeva A.G. Using CRISPR/Cas9 for generation the cd209 knockout is a way to get cattle breeds resistant to the Bovine leukemia virus (BLV) E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 176. P. 01007.

²⁰ Silaeva Y.Y., Kubekina M.V., Bruter A.V., Isaeva A.G., Koshchaev, A.G. Gene editing CRISPR/Cas9 system for producing cows with hypoallergenic milk on the background of a beta-lactoglobulin gene knockout E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 176. P. 01006.

²¹ Mashiko D., Young S.A., Muto M., Kato H., Nozawa K., Ogawa M., Noda T., Kim Y.J., Satouh Y., Fujihara Y., et al. Feasibility for a large scale mouse mutagenesis by injecting CRISPR/Cas plasmid into zygotes // Dev. Growth Differ. 2014. Vol. 56. P. 122–129. DOI: 10.1111/dgd.12113.

²² Wang X., Yu H., Lei A., Zhou J., Zeng W., Zhu H., Dong Z., Niu Y., Shi B., Cai B., et al. Generation of gene-modified goats targeting MSTN and FGF5 via zygote injection of CRISPR/Cas9 system // Sci. Rep. 2015. Vol. 5. P. 13878. DOI: 10.1038/srep13878.

²³ Wang K., Ouyang H., Xie Z., Yao C., Guo N., Li M., Jiao H., Pang D. Efficient Generation of Myostatin Mutations in Pigs Using the CRISPR/Cas9 System // Sci. Rep. 2015. Vol. 5. P. 1–11. DOI: 10.1038/srep16623.

AAV6 и AAVDJ) показали очень близкую эффективность трансдукции (52,94–58,33%). По итогам экспериментов выбрали серотип AAV2 для нокаута гена, ассоциированного с рецептором CD209. CD209 представляет собой рецептор лектина С-типа, располагается на поверхности макрофагов и дендритных клеток и распознает широкий спектр патогенов, в том числе вирус лейкоза крупного рогатого скота. Потенциально нокаут этого гена может позволить животным стать устойчивыми к различным инфекциям. После редактирования экспериментальных зигот КРС с доставкой системы аденоассоциированным вирусом (серотип AAV2) полученные бластоцисты были проанализированы секвенированием по Сэнгеру: в 3 из 22 случаев отмечали мозаичные сдвиги рамки считывания области CD209 [12].

В проведенных нами экспериментах наиболее результативным методом генного редактирования у крупного рогатого скота стало использование системы редактирования на основе РНК spCas9 и гидовых РНК, доставлявшихся в клетку с помощью усовершенствованного и адаптированного с учетом видовой специфичности способа микроинъекции (см. сноски 19, 20). На время инъекции зиготы помещали в буфер G-MOPS (Vitrolife, Швеция). Для инъекции использовали только ооциты, выбросившие первое и второе полярное тело после оплодотворения *in vitro*. Инъекции проводили с помощью удерживающей пипетки (Cooper Surgical, США) и иглы для микроинъекции. Для каждой системы редактирования проводили по два независимых эксперимента, всего было проинжецировано 200 клеток. В процессе манипуляций погибло около 10% клеток, что, по нашему мнению, связано с высокой травматичностью микроинъекций как таковых. Начали дробление 98 клеток, из них восьмиклеточной стадии достигли 67,6%, а 11 эмбрионов достигли стадии бластоцисты, что составило 5,5% всех использованных клеток. У 32,3% зигот арест наступил вскоре после начала дробления. Секвенирование биопсийного материала от эмбрионов показало наличие характерных изменений в генах интереса.

На полученных хроматограммах отдельных проб эмбрионов после микроинъекций генетических конструкций для внесения разреза в гены BLG и CD209 отмечен основной признак наличия генетической модификации – двоение сиквенса. Разрезы обнаружены в 5 из 17 эмбрионов (29,4%) после микроинъекций гидовой РНК против гена BLG и мРНК spCas9 и в 2 из 9 эмбрионов (22,2%) после микроинъекций гидовой РНК против гена CD209 и мРНК spCas9. Таким образом, уровень нокаутов в группе экспериментальных клеток не превышал 30%, при этом стадии бластоцисты достигало около 5,5% эмбрионов, что, предположительно, обусловлено высокой травматичностью микроинъекции и гибелью значительного количества ранних эмбрионов на начальных этапах дробления. Несмотря на это, в целом полученные нами данные свидетельствовали об успешности и эффективности работы этой системы доставки, однако требовалось дальнейшее совершенствование техники выполнения для повышения выживаемости эмбрионов после манипуляций.

Ключевым критерием было достижение минимально возможной травматичности микроинъекций. Нами исследованы различные способы выполнения микроинъекций, изучено влияние формы иглы на эффективность манипуляций, опробованы различные варианты приготовления смеси РНК Cas9 и гидовых РНК, отличающихся вязкостью и концентрацией компонентов. Было испытано два вида игл: имеющие изгиб под углом 45°, аналогичные инструментам для проведения ИКСИ (интрацитоплазматической инъекции сперматозоида), и прямые, обычно применяемые для микроинъекций у мелких лабораторных животных. Разработаны технические решения, позволившие проводить микроинъекции прямой иглой с использованием удерживающей присоски с изгибом под углом 45°, стандартной для ИКСИ, в «полуоткрытой» камере для микроинъекций в горизонтальной плоскости. Также определена оптимальная концентрация РНК Cas9 и гидовых РНК в смеси для микроинъекций. В результате исследований разработана методика посте-

пенного снижения концентрации смеси – до получения раствора оптимальной вязкости и текучести, соответствующей параметрам заполнения иглы: 50 нг/мкл РНК Cas9 и 15 нг/мкл гидовой РНК.

На основе полученных результатов оптимизирован протокол выполнения микроинъекции системы редактирования и проведен модельный эксперимент на 160 ооцитах, по 80 клеток на каждую конструкцию. В результате установили, что, несмотря на повышенную начальную гибель клеток, эффективность самого редактирования была выше. При инъекции гидовой РНК против гена BLG и мРНК spCas9 гибель клеток составила 68,8%, дробление начали 84% выживших клеток, соотношение между начавшими бластуляцию и арестованными зиготами составляло 20 к 80%. При инъекции системы редактирования против гена CD209 гибель клеток составила 66,3%, дробление начали 44,4% выживших эмбрионов, бластуляция составила 16,7%. Все остановившиеся в развитии эмбрионы отправлены на сиквенс: 13 и 10 (один – брак) в двух группах, соответственно. В результате установлено, что из 13 эмбрионов оказалось 9 с нокаутом по BLG (69,2%), и из 9 эмбрионов – 4 с нокаутом по CD209 (44,4%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным исследований [8], эффективность нокаута гена б-лактоглобулина на отредактированных 1511 зиготах КРС имеет следующие показатели: уровень дорастания до бластоцисты – 15%, количество несущих делецию эмбрионов – 21%. В настоящих исследованиях с применением системы CRISPR/Cas9 достигнуты схожие результаты: 20–30%-й уровень нокаута и 16%-й уровень бластуляции. При этом частота формирования бластоцист была сопоставима с контрольной (интактной) группой. Принимая во внимание то, что ооциты КРС получены после убоя животных, выбракованных из фермерских хозяйств в силу возрастных изменений и низкой удойности, и без предварительной гормональной подготовки, низкий уровень компетенции к развитию таких ооцитов вполне объясним.

Наши результаты показали, что доставка системы редактирования методом микроинъекций смеси РНК spCas9 и гидовых РНК является достаточно эффективной и может применяться для получения нокаутов по генам интереса. Однако возникает проблема снижения уровня мозаичности после редактирования эмбрионов. В связи с этим перспективным будет введение реагентов для редактирования как можно раньше (в ооциты МП) до начала синтеза ДНК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fei Hao, Wei Yan, Xiaocong Li, Hui Wang, Yingmin Wang, Xiao Hu, Xu Liu, Hao Liang, Dongjun Liu. Generation of Cashmere Goats Carrying an EDAR Gene Mutant Using CRISPR-Cas9-Mediated Genome Editing // International Journal of Biological Sciences. 2018. Vol. 14 (4). P. 427–436. DOI: 10.7150/ijbs.23890.
2. Jenny-Helena Söllner, Hendrik Johannes Sake, Antje Frenzel, Rita Lechler, Doris Herrmann, Walter Fuchs, Björn Petersen. In vitro genome editing activity of Cas9 in somatic cells after random and transposon-based genomic Cas9 integration // PLoS One. 2022. Vol. 17 (12). P. 0279123. DOI: 10.1371/journal.pone.0279123.
3. Honghui Li, Wenmin Cheng, Bowei Chen, Shaoxia Pu, Ninglin Fan, Xiaolin Zhang, Deling Jiao, Dejia Shi, Jianxiong Guo, Zhuo Li, Yubo Qing, Baoyu Jia, Hong-Ye Zhao, Hong-Jiang Wei. Efficient Generation of P53 Biallelic Mutations in Diannan Miniature Pigs Using RNA-Guided Base Editing // Life (Basel). 2021. Vol. 11 (12). P. 1417. DOI: 10.3390/life11121417.
4. Haokun Zhang, Ruilin Sun, Jian Fei, Hongyan Chen, Daru Lu. Correction of Beta-Thalassemia IVS-II-654 Mutation in a Mouse Model Using Prime Editing // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23 (11). P. 5948. DOI: 10.3390/ijms23115948.
5. Ryu J., Statz J.P., Chan W., Burch F.C., Brigande J.V., Kempton B., Porsov E.V., Renner L., McGill T., Burwitz B.J., Hanna C.B., Neuringer M., Hennebold J.D. CRISPR/Cas9 editing of the MYO7A gene in rhesus macaque embryos to generate a primate model of Usher syndrome type 1B // Scientific Reports. 2022. Vol. 1. P. 10036. DOI: 10.1038/s41598-022-13689-x.
6. Lin Y., Li J., Li C., Tu Z., Li S., Li X.J., Yan S. Application of CRISPR/Cas9 System in Es-

- establishing Large Animal Models // *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2022. Vol. 10. P. 919155. DOI: 10.3389/fcell.2022.919155.
7. Menchaca A., Dos Santos-Neto P.C., Souza-Neves M., Cuadro F., Mulet A.P., Tesson L., Chenouard V., Guiffès A., Heslan J.M., Gantier M., Anegón I., Crispo M. Otoferlin Gene Editing in Sheep via CRISPR-Assisted ssODN-Mediated Homology Directed Repair // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10 (1) . P. 5995. DOI: 10.1038/s41598-020-62879-y.
 8. Karponi G., Kritas S.K., Papadopoulou G., Akrioti E.K., Papanikolaou E., Petridou E. Development of a CRISPR/Cas9 system against ruminant animal brucellosis // *BMC Veterinary Research*. 2019. Vol. 15. P. 422. DOI: 10.1186/s12917-019-2179-z.
 9. De Graeff N., Jongsma K.R., Johnston J., Hartley S., Bredenoord A.L. The ethics of genome editing in non-human animals: A systematic review of reasons reported in the academic literature // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2019. Vol. 374. P. 20180106. DOI: 10.1098/rstb.2018.0106.
 10. Yang H., Wang H., Shivalila C.S. et al. One-step generation of mice carrying reporter and conditional alleles by CRISPR/Cas-mediated genome engineering // *Cell*. 2013. Vol. 154. P. 1370–1379.
 11. Danilov K.A., Vassilieva S.G., Polikarpova A.V., Starikova A.V., Shmidt A.A., Galkin I.I., Tsitrina A.A., Egorova T.V., Orlov S.N., Kotelevtsev Y.V. In vitro assay for the efficacy assessment of AAV vectors expressing microdystrophin // *Experimental Cell Research*. 2020. Vol. 392. P. 112033. DOI: 10.1016/j.yexcr.2020.112033.
 12. Krivonogova A.S., Bruter A.V., Makutina V.A., Okulova Y.D., Ilchuk L.A., Kubekina M.V., Khamatova A.Y., Egorova T.V., Mymrin V.S., Silaeva Y.Y., Deykin A.V., Filatov M.A., Isaeva A.G. AAV infection of bovine embryos: Novel, simple and effective tool for genome editing // *Theor. Genet. Evol.* 2022. Vol. 193. P. 77–86.
 2. Jenny-Helena Söllner, Hendrik Johannes Sake, Antje Frenzel, Rita Lechler, Doris Herrmann, Walter Fuchs, Björn Petersen. In vitro genome editing activity of Cas9 in somatic cells after random and transposon-based genomic Cas9 integration. *PLoS One*, 2022, vol. 17 (12), p. 0279123. DOI: 10.1371/journal.pone.0279123.
 3. Honghui Li, Wenmin Cheng, Bowei Chen, Shaoxia Pu, Ninglin Fan, Xiaolin Zhang, Deling Jiao, Dejia Shi, Jianxiong Guo, Zhuo Li, Yubo Qing, Baoyu Jia, Hong-Ye Zhao, Hong-Jiang Wei. Efficient Generation of P53 Biallelic Mutations in Diannan Miniature Pigs Using RNA-Guided Base Editing. *Life (Basel)*, 2021, vol. 11 (12), p. 1417. DOI: 10.3390/life11121417.
 4. Haokun Zhang, Ruilin Sun, Jian Fei, Hongyan Chen, Daru Lu. Correction of Beta-Thalassemia IVS-II-654 Mutation in a Mouse Model Using Prime Editing. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23 (11), p. 5948. DOI: 10.3390/ijms23115948.
 5. Ryu J., Statz J.P., Chan W., Burch F.C., Brigande J.V., Kempton B., Porsov E.V., Renner L., McGill T., Burwitz B.J., Hanna C.B., Neuringer M., Hennebold J.D. CRISPR/Cas9 editing of the MYO7A gene in rhesus macaque embryos to generate a primate model of Usher syndrome type 1B. *Scientific Reports*, 2022, vol. 1, p. 10036. DOI: 10.1038/s41598-022-13689-x.
 6. Lin Y., Li J., Li C., Tu Z., Li S., Li X.J., Yan S. Application of CRISPR/Cas9 System in Establishing Large Animal Models. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 2022, vol. 10, p. 919155. DOI: 10.3389/fcell.2022.919155.
 7. Menchaca A., Dos Santos-Neto P.C., Souza-Neves M., Cuadro F., Mulet A.P., Tesson L., Chenouard V., Guiffès A., Heslan J.M., Gantier M., Anegón I., Crispo M. Otoferlin Gene Editing in Sheep via CRISPR-Assisted ssODN-Mediated Homology Directed Repair. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10 (1), p. 5995. DOI: 10.1038/s41598-020-62879-y.
 8. Karponi G., Kritas S.K., Papadopoulou G., Akrioti E.K., Papanikolaou E., Petridou E. Development of a CRISPR/Cas9 system against ruminant animal brucellosis. *BMC Veterinary Research*, 2019, vol. 15, p. 422. DOI: 10.1186/s12917-019-2179-z.
 9. De Graeff N., Jongsma K.R., Johnston J., Hartley S., Bredenoord A.L. The ethics of genome editing in non-human animals: A systematic review of reasons reported in the academic liter-

REFERENCES

1. Fei Hao, Wei Yan, Xiaocong Li, Hui Wang, Yingmin Wang, Xiao Hu, Xu Liu, Hao Liang, Dongjun Liu. Generation of Cashmere Goats Carrying an EDAR Gene Mutant Using CRISPR-Cas9-Mediated Genome Editing. *International Journal of Biological Sciences*, 2018, vol. 14 (4), pp. 427–436. DOI: 10.7150/ijbs.23890.

- ature. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2019, vol. 374, p. 20180106. DOI: 10.1098/rstb.2018.0106.
10. Yang H., Wang H., Shivalila C.S. et al. One-step generation of mice carrying reporter and conditional alleles by CRISPR/Cas-mediated genome engineering. *Cell*, 2013, vol. 154, pp. 1370–1379.
 11. Danilov K.A., Vassilieva S.G., Polikarpova A.V., Starikova A.V., Shmidt A.A., Galkin I.I., Tsitri-na A.A., Egorova T.V., Orlov S.N., Kotelevt-sev Y.V. In vitro assay for the efficacy assessment of AAV vectors expressing microdystrophin. *Experimental Cell Research*, 2020, vol. 392, p. 112033. DOI: 10.1016/j.yexcr.2020.112033.
 12. Krivonogova A.S., Bruter A.V., Makutina V.A., Okulova Y.D., Ilchuk L.A., Kubekina M.V., Khamatova A.Y., Egorova T.V., Mymrin V.S., Silaeva Y.Y., Deykin A.V., Filatov M.A., Isaeva A.G. AAV infection of bovine embryos: Novel, simple and effective tool for genome editing. *Theriogenology*, 2022, vol. 193, pp. 77–86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Донник И.М., доктор биологических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник

Макутина В.А., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Кривоногова А.С., доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

✉ **Исаева А.Г.**, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 620142, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: isaeva.05@bk.ru

Дейкин А.В., кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Кощаев А.Г., доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

Irina M. Donnik, Doctor of Science in Biology, Professor, Academician RAS, Head Researcher

Valerija A. Makutina, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Anna S. Krivonogova, Doctor of Science in Biology, Associate Professor, Lead Researcher

✉ **Albina G. Isaeva**, Doctor of Science in Biology, Associate Professor, Lead Researcher; **address:** 112a, Belinskogo St., Ekaterinburg, 620142, Russia; e-mail: isaeva.05@bk.ru

Alexey V. Deikin, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher

Andrey G. Kotschaev, Doctor of Science in Biology, Professor, Senior Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 07.07.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.07.2023

Дата публикации / Published 20.10.2023



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-13>

УДК: 631.874

Тип статьи: обзорная

Type of article: review

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ ЗЕЛЕННОГО УДОБРЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

(✉) **Арсентьев И.А., Тимошина Н.А.**

Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха

Московская область, д.п. Красково, Россия

(✉) e-mail: ilya.arsentev29@gmail.com

Рассмотрена проблема практического применения сорняков в сельском хозяйстве. Сорная флора так же, как и другая растительность, выполняет ряд экологических функций и, по определению биогеохимической науки, является фитомассой, несущей в себе большие запасы биогенных (С, О, N, H, Ca, P, S) и ряда других химических элементов. Остается не до конца изученной функция сорной растительности как составляющей экологической стабильности агроценозов. В связи с этим в статье представлены данные по результатам использования сорной растительности в адаптивно-биологическом земледелии в качестве зеленого удобрения. Приведены примеры положительного влияния сорняков на почвенное плодородие и урожайность возделываемых культур.

Ключевые слова: сорняки, фитомасса, органическое вещество почвы, сидераты, естественный фитоценоз

USE OF WEED PLANTS AS GREEN MANURE IN AGRICULTURE

(✉) **Arsentiev I.A., Timoshina N.A.**

Russian Potato Research Centre

Kraskovo, Moscow region, Russia

(✉) e-mail: ilya.arsentev29@gmail.com

The problem of practical application of weeds in agriculture is considered. Weed flora, just like other vegetation, performs a number of ecological functions and, according to the definition of biogeochemical science, is a phytomass carrying large reserves of biophilic (C, O, N, H, Ca, P, S) and a number of other chemical elements. The function of weed vegetation as a component of ecological stability of agroecosystems remains incompletely studied. In this regard, the article presents data on the results of using weed vegetation in adaptive-biological farming as a green manure fertilizer. Examples of positive effects of weeds on soil fertility and yields of cultivated crops are given.

Keywords: weeds, phytomass, soil organic matter, green manure, natural phytocenosis

Для цитирования: Арсентьев И.А., Тимошина Н.А. Использование сорных растений в качестве зеленого удобрения в сельском хозяйстве // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 9. С. 111–119. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-13>

For citation: Arsentiev I.A., Timoshina N.A. Use of weed plants as green manure in agriculture. *Sibirskii vestnik sel'skokozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 111–119. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-9-13>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Сорно-полевые растения составляют группу, исторически сложившуюся в результате деятельности человека. Процесс ее формирования не прекращается и в настоящее время. Стоит отметить, что данная группа растительности является неотъемлемой частью агрофитоценозов, ее фитомасса в большинстве случаев не превышает 20% от величины этого же показателя у возделываемой культуры [1].

На данном этапе сельскому хозяйству в значительной мере присуще негативное восприятие сорных растений, что вполне обосновано наукой. Обладая более высокой экологической пластичностью, сорняки выживают в любых условиях, поэтому очень успешно конкурируют с культурными растениями в агроэкосистемах и оказывают на них разностороннее негативное влияние^{1, 2}. Известно, что степень засоренности посевов напрямую влияет на количественные и качественные показатели урожайности сельскохозяйственных культур. За последние годы в России фитосанитарная ситуация значительно ухудшилась. Большинство посевов засорено, из них около 70% в высокой и средней степени. Несмотря на то, что объемы применяемых гербицидов растут, в нашей стране сохраняется значительная засоренность посевов зерновых культур [2]. Ежегодные потенциальные потери в орошаемых посевах из-за негативного влияния сорной растительности оценивают примерно в 15 млн т в пересчете на зерно [3]. Средний уровень потерь урожая от сорняков в РФ составляет 15% [4].

Однако научное сообщество располагает данными о положительном влиянии сегетальной растительности на агроэкосистемы. Сорняки обычно рассматриваются как конкуренты сельскохозяйственных культур при использовании воды, питательных веществ

или солнечного света, но в большинстве случаев не учитывается тот факт, что сорная растительность является естественным компонентом биоценозов, выполняющим функции поддержания их биоразнообразия и устойчивости^{3, 4}. Все агроценозы относят к неустойчивым экосистемам, так как количество видов в них искусственно ограничено человеком. Включение полей с сорными растениями в сельскохозяйственное использование может способствовать повышению устойчивости агроценозов. Были проведены научные исследования, доказавшие пользу сорняков: установлено, что сорно-полевые растения способствуют увеличению численности полезных насекомых (опылителей) и общего биоразнообразия экосистемы. Возникновение различных гипотез, рассматривающих данное явление, и успех некоторых исследований в доказательстве указанного факта свидетельствуют о том, что описываемая выше тематика заслуживает дальнейшего изучения [5].

Культурные растения, и прежде всего пропашные культуры, обладают примерно одинаковыми корневыми системами (как правило, поверхностными) и по большей части эффективно используют питательные вещества лишь из верхних слоев почвы [1]. Поэтому питательные вещества в более глубоких слоях не доступны для культивируемых растений и могут быть потеряны в результате вымывания. Сорняки с сильно развитой корневой системой извлекают элементы питания из глубоких слоев почвы и материнской породы и являются их резервуарами. В условиях, где конкуренция за питательные вещества не оказывается ограничивающим фактором, рост сорняков может способствовать удержанию этих веществ в агроэкосистеме [1]. В связи с этим в настоящее время сельскохозяйственная наука должна переходить

¹Корчагин А.А., Мазиров М.А., Шукин И.М. Общее земледелие: учеб. пособие. Владимир: Издательство Владимирского государственного университета, 2021. 193 с.

²Ерёмин Д.И., Конищева В.А. Биогенный вынос питательных веществ пшеничного агрофитоценоза в условиях лесостепной зоны Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2014. № 1. С. 9–13.

³Сорокин И.Б. Применение сорных растений в качестве сидератов // Защита растений. 2008. № 7. С. 34–35.

⁴Petit S., Boursault A., Mélanie Le G., Munier-Jolain N. Weeds in agricultural landscapes. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2011. N 2. P. 309–317.

от парадигмы борьбы с сорными растениями к парадигме управления сорным компонентом агрофитоценоза.

Уничтожение сорной растительности химическими методами наносит колоссальный урон экосистемам. При использовании пестицидов почвы регулярно загрязняются большой группой химических веществ различных классов. Нормальное функционирование растений и почвенной биоты определяется физическими, химическими и биологическими процессами, которые протекают в почве, и пестициды могут быть включены в эти процессы. Большинство ядохимикатов являются высокотоксичными и мутагенными соединениями, способными не только аккумулироваться в почве, тканях живых организмов, но и мигрировать в биосфере за счет абиотических и биотических процессов⁵. Все это указывает на необходимость снижения пестицидной нагрузки на экосистемы, поэтому борьба с сорняками должна осуществляться в рамках биологизации земледелия. В связи с этим стоит задуматься о практическом использовании сорняков в сельском хозяйстве.

Цель работы – представить материал, отражающий современное состояние проблемы использования сорных растений в качестве сидератов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обзор написан по опубликованным литературным источникам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Дагестане на предприятии «Каспий», расположенном в Каякентском районе, была изучена система содержания междурядий в плодоносящих виноградниках. Выявлено, что в последние годы почва подвергалась сильному уплотнению под действием сельскохозяйственной техники. Это явление считается основной причиной получения низ-

ких средних урожаев сельскохозяйственных культур в республике (5–8 т/га). В связи с этим рядом авторов были разработаны рекомендации для улучшения состояния почвы⁶. Предложено использовать травяной настил из срезанных сорных растений для предотвращения прямого контакта колес, солнечного света с почвой и сохранения влаги в жаркий период года. Также данный слой выполняет функцию органического удобрения, обогащающего почву питательными веществами и создающего благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов и корневой системы растений.

В опытно-производственном хозяйстве «Центральное» (г. Краснодар, ОАО «Агроном») проводили исследования по средозащитной роли сорных растений в междурядьях насаждений яблони. В первый год после прекращения обработки почвы преобладали наиболее типичные для местной флоры сорные растения (марь белая, просо куриное, щирица запрокинутая и др.), фитомасса которых достигала 30 т/га, в пересчете на сухую массу до 6,8 т/га. На пятый и шестой годы преобладали рыхлокустовые злаки с включениями бобовых (костер полевой, ячмень заячий, мятлик однолетний и др.), фитомасса которых составляла около 33,8 т/га, сухая масса – 4,58 т/га. Под травами изменились агрохимические свойства выщелоченного чернозема: возросли содержание гумуса, подвижного P_2O_5 , обменного K_2O , степень насыщенности основаниями и их сумма, уменьшилась кислотность среды. Также в почве под травами чаще встречались различные дрожжи, были зафиксированы наибольшие запасы микробного пула и отмечен рост численности некоторых почвенных животных, что в совокупности указывает на улучшение плодородия почвы. Введение трав в экосистему яблоневого сада с 2–3-летнего возраста плодовых растений способствовало более раннему их вступлению в плодоношение. Первые четыре года с начала плодоношения урожай в вари-

⁵Шильникова Н.В., Андрияшина Т.В. Влияние пестицидов на биоценоз почвенного покрова // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 7. С. 140–144.

⁶Chupanov M.A., Kaziev M.-R.A., Alichayev M.M. Weed Vegetation to Enhance Soil Fertility in Vineyards // Agricultural Sciences. 2014. N 5. P. 839–842.

антах с травами был достоверно выше, чем при содержании почвы под черным паром. Наибольший урожай получен с деревьев, междурядья которых были заняты естественными травами⁷.

В настоящее время научное сообщество располагает достаточным объемом данных по изучению баланса органического вещества (ОВ) в почве. Основным источником поступления ОВ в почву – это фитомасса. Именно она обуславливает поступление и накопление ОВ в виде растительных остатков в верхних почвенных горизонтах, что отражается на гумусированности, оструктуренности, поглонительной способности и ряде других характеристик почв. Главной причиной деградации пахотных земель является потеря гумуса, происходящая в результате механической обработки и нарушения естественного баланса ОВ. Установлено, что в естественных фитоценозах, в отличие от агроценозов, ежегодно остается в 5–7 раз больше растительных остатков [6]. В контексте данной проблемы хорошие результаты показывают сидераты. В ходе многочисленных исследований выявлено, что сидераты в различных севооборотах оказывают благотворное влияние на почвенное плодородие, восполняя запасы элементов питания и, как минимум, уменьшая дефицит ОВ и гумуса [7–9]. В Нечерноземной зоне РФ сидеральные культуры не уступают по воздействию на урожай традиционным органическим удобрениям. Их введение в систему удобрения повышает рентабельность полевых севооборотов до 30%⁸. Стоит учесть, что сообщества сегетальной флоры, как и другие растения, по определению биогеохимической науки, являются фитомассой, но в отличие от культурных сидератов фитомасса сорняков достается земледельцу даром.

Некоторые авторы рекомендуют в условиях мелкотоварного производства внедрять сидеральные пары из сорной растительности

как природные источники повышения продуктивности растений⁹. По их мнению, на это имеется несколько причин. Во-первых, данные фитоценозы позволяют получить 25–30 т/га органической массы с узким соотношением C : N, что особенно важно для начала активной микробной деятельности. Во-вторых, сорняки накапливают элементы питания не только из верхних окультуренных, но и из глубоких слоев почвы, являющихся практически неисчерпаемыми источниками минеральных веществ. В-третьих, сорная растительность активно взаимодействует с ризосферными, эндофитными и другими типами микроорганизмов, вследствие чего в биологический круговорот вовлекаются элементы питания, в обычных условиях не доступные культурным растениям.

В условиях Западной Сибири (Томская область, села Новоархангельское и Лучаново) на серых лесных почвах в зернопаровых севооборотах изучали влияние сидератов и соломы на баланс органического вещества. Установлено, что однолетние сорные растения (*Echinochloa crus galli* – 52–93% массы) не уступали по количеству и качеству фитомассы культурным сидератам (22 т/га). Их средняя абсолютно сухая масса достигала 4,1 т/га. При запашке однолетних сидератов в III декаде сентября (с учетом прироста отавы после укоса в начале июля) дефицит ОВ снизился до 2,55 т/га, т.е. на 80% по сравнению с чистым паром (дефицит ОВ – 12,8 т/га), но бездефицитный баланс не был достигнут. В с. Новоархангельском в среднем за два года в результате применения люпина наблюдалась достоверная прибавка урожайности зерновых на 16% (на 2,6 ц/га). В данном варианте доля сегетальной флоры в зеленой массе составляла более 85%, поэтому следует учитывать их суммарное воздействие. На более плодородной темно-серой лесной почве влияние сидерального пара из сорня-

⁷Попова В.П., Чернявская Н.В. Средозащитная роль сорных растений в экосистеме сада // Плодоводство и ягодоводство России. 2010. Т. 24. № 2. С. 329–337.

⁸Новиков М.Н., Тамонов А.М., Фролов Л.Д., Ермаков Л.И. Сидераты в земледелии Нечерноземной зоны // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 20–26.

⁹Сюмак А.В., Русаков В.В., Мунгалов В.А., Селин А.В., Цыбань А.А. Производственная проверка ресурсосберегающей технологической системы производства экологически чистой сельскохозяйственной продукции в зерно-соевом севообороте для мелкотоварного производства // Дальневосточный аграрный вестник. 2009. № 3. С. 59–63.

ков на урожайность зерновых было на уровне чистого пара (больше на 40–50%). Но в отличие от него, сидеральный пар увеличивал урожайность зерновых за счет разложения привнесенного зеленого удобрения, сохраняя почвенное ОВ¹⁰.

Немаловажен для науки опыт применения сорных растений в качестве зеленого удобрения в картофелеводстве России. Так, в Благовещенском районе Амурской области в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Щегорец» при возделывании картофеля использовали короткоротационный севооборот: сидеральный пар – картофель – картофель. В качестве сидератов использовали естественный фитоценоз разнообразных сорняков с доминированием конопли сорной, мари белой, щирицы запрокинутой, куриного проса. Состоящую из сорных растений фитомассу измельчали роторной косилкой КИР-1,5 до мелких сегментов и запаховали на глубину 10–15 см не позднее середины июля. Высокий потенциал экологической пластичности сорной растительности позволял формировать фитомассу сидерального пара объемом до 70 т/га. Продуктивность естественных засорителей превосходила данный показатель сидерата из сои в 2–3 раза. Сухое вещество в естественных «посевах» составляло от 5,7 до 37,8 т/га и содержало колоссальные объемы азота, фосфора и калия: N – 350–1659 кг/га, P_2O_5 – 85–352 и K_2O – 455–956 кг/га. Наибольшие величины были характерны для конопли сорной. Использование в качестве сидератов сорных растений показало их эффективность как отличных предшественников для картофеля – почва получала большую дозу органики и минеральных веществ, что позволяло собрать урожай объемом 30–45 т/га (свыше 20 т/га в самые неблагоприятные годы). В данных условиях сидерат из сорняков являлся самым дешевым видом удобрений, не требовавшим затрат на подготовку почвы, посев,

уход. Уровень рентабельности производства картофеля при применении сидератов из естественных засорителей составил 487%, что в 2 раза выше, чем при использовании в качестве сидерата сои (212%)^{11, 12}. Следовательно, сидерация сорняками увеличивала уровень биологизации земледелия, что отражалось и на его устойчивости.

В полевых опытах на лугово-каштановых тяжелосуглинистых почвах в Тарумовском и Хасавюртовском районах Дагестана изучали следующие предшественники люцерны: озимая пшеница (контроль), естественный фитоценоз сорно-полевой растительности, произросший после уборки озимой пшеницы, кукуруза, подсолнечник. Установлено, что лучшим предшественником люцерны был естественный фитоценоз, формируемый после уборки урожая пшеницы на зеленое удобрение или корм скоту. Фитомассу сорно-полевой растительности в обоих вариантах убирали в конце августа и во II декаде октября. Она достигала 5,50–5,75 т/га, содержала в среднем 52,95 кг/га K_2O и 27,84 кг/га P_2O_5 , что в 2,1 (по K_2O) и 2,7 раза (по P_2O_5) превышало значение в контроле. Естественный фитоценоз позволил получить на 5,58 и 3,82 т/га больше неотчуждаемой из почвы растительной массы по сравнению с контролем (4,04 т/га) и на 4,48–6,34 т/га больше, чем после пропашных предшественников (3,38 и 3,28 т/га). Урожайность сена люцерны (в сумме за два года) при запашке этой массы увеличивалась относительно контроля на 1,7–4,1 и 3,6–6,2 т/га по сравнению с кукурузой и подсолнечником [10, 11].

В условиях орошаемого земледелия Терско-Сулакской низменности Дагестана изучали системы содержания светло-каштановой почвы в пожнивный период. Значимые результаты показала «энергонакопительная» система. После уборки урожая озимой пшеницы в I декаде июля был проведен полив из

¹⁰Сорокин И.Б. Возобновляемые биоресурсы повышения плодородия пахотных почв подтаежной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск, 2013. 41 с.

¹¹Щегорец О.В. Опыт биологического земледелия в Приамурье // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 5 апреля 2017 г.). Благовещенск, 2017. С. 85–90.

¹²Щегорец О.В. Система обработки залежи и сидерального пара в картофельном севообороте // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всерос. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 20–21 апреля 2022 г.). Благовещенск, 2022. С. 349–358.

расчета увлажнения метрового слоя почвы до 100% НВ для провоцирования прорастания сорняков. Сформировавшийся после этого естественный фитоценоз (ПЕФ) использовали в качестве сидерального пара. Зеленую массу сорняков в фазе молочно-восковой спелости семян (или за 5–7 дней до посева культуры) измельчали тяжелыми дисковыми боронами и проводили вспашку на глубину 20–22 см. В итоге данная система позволила получить в пожнивный период более 20 т/га зеленой массы, содержащей 121,90 кг N, 26,87 P₂O₅ и 32,09 кг K₂O, без затрат на выращивание, кроме полива с использованием существующей оросительной сети. Заделка зеленой массы сидерата обеспечила повышение урожайности возделываемой культуры в среднем на 0,7 т/га (до 4,78 т/га) и получение 4,2 тыс. р./га дополнительного чистого дохода¹³. При внесении минеральных удобрений в звене севооборота «ПЕФ – озимая пшеница» дробно в два срока (по N₄₅P₄₅ под ПЕФ и культуру) урожайность зеленой массы ПЕФ увеличилась на 1,75 т/га, зерна пшеницы – на 1,57 т/га [12]. Это позволило лучше использовать питательные вещества, так как при разложении органической массы сидерата они постепенно высвобождаются, равномерно используются растениями и нет опасности потерь азота из корнеобитаемого слоя [13].

Результаты опытов с поживными естественными фитоценозами из сорняков интересны с точки зрения производства ранних овощей, когда поля после уборки культуры длительное время (до 2 мес и более) остаются без растительности, а почва подвергается различным видам эрозии.

В Индии большая роль в изучении сорной растительности принадлежит Всеиндийской скоординированной программе (AICRP) по борьбе с сорняками. Одной из ключевых задач программы является изучение возмож-

ности использования сорняков в различных хозяйственных целях¹⁴. Также некоторые исследования выявили, что определенные роды сорняков способны формировать большие запасы биомассы с высоким содержанием питательных веществ: партениум – 50–200 т/га, хромолена – 93, кассия – 30, лантана – 10–15, эйхорния – 100–115 т/га¹⁵. По мнению некоторых авторов, многие сорные растения можно использовать в пищу, на корм, в качестве сидератов, для производства биоэтанола, в лечебных и других целях (см. сноску 15) [14, 15]. Такие виды, как *Cassia sofera*, *Cassia tora*, *Tephrosia purpurea*, *Ipomoea carnea*, *Eichhornia crassipes*, *Vernonia*, *Calotropis gigantea*, *Water hyacinth*, применяют в сельском хозяйстве в качестве сидератов. Сорные растения *Chromolaena odorata*, *Cassia serecia* и род *Parthenium* рекомендуется использовать для компостирования¹⁶.

Исследования, проведенные в восточных Гималаях (Аручал-Прадеш, Басар), доказали увеличение урожая риса *Oryza sativa* и семян тории *Brassica rapa* при внесении в почву смешанной биомассы сорняков (WBM), растительных остатков риса (CRR), тории (CR) и микробных инокулянтов. При совместном внесении WBM и CRR (или CR) по 2 т/га каждого (под рис по 1 т/га) урожайность зерна риса и семян тории достигла 3,52–3,90 и 0,90–1,11 т/га соответственно. При использовании только 4 т/га CRR и 2 т/га CR урожайность описанных выше культур была ниже – 2,83–3,22 и 0,76–0,84 т/га. Урожайность после внесения биомассы сорняков несколько уступала варианту, предусматривавшему совместное внесение WBM и CRR (CR). Заделывание в почву WBM и растительных остатков культур совместно и по отдельности повысило содержание основных питательных элементов и углерода, уменьшило кислотность почвы [16].

¹³Гасанов Г.Н., Арсланов М.А. О системах содержания почвы в пожнивный период в условиях орошения на юге Российской Федерации и их классификации // Земледелие. 2017. № 1. С. 21–24.

¹⁴Surinder S.R., Rajinder K., Neelam Sh. A Collocate of Publications on Weed Science (Under AICRP – Weed Management, Palampur Centre). Palampur, 2016. 49 p.

¹⁵Priya H.R., Veena, Pavithra A.H., Divya J. Prospects and Problems of Utilization of Weed Biomass: A Review // Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences. 2014. Vol. 3. Is. 2. P. 1–11.

¹⁶Singh P., Srivastava D. Exploitation of weed plants as beneficial purpose // Journal of Biological and Scientific Opinion. 2013. Vol. 1 (2). P. 123–127.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный выше материал доказывает, что сорную растительность можно использовать при возделывании сельскохозяйственных культур в качестве зеленого удобрения. Перспективным направлением является сидерация почвы малолетними (одно- и двулетними) сорняками, что позволяет существенно экономить на затратах, связанных с приобретением семян типичных сидеральных культур и их посеве, получать фитомассу, по величине не уступающую однолетним сидератам (в некоторых условиях и многолетним). Для дальнейшего развития данной темы необходимо проводить научные исследования, уточняющие видовой состав сорняков, пригодных для сидерации, величину фитомассы сорных сообществ по различным природным зонам РФ, их влияние на баланс органического вещества почв, приемы и сроки возделывания. Важно изучить потенциал использования сорных сообществ в качестве сидератов в условиях Нечерноземья, так как привычные для этого региона сидераты являются эффективным органическим удобрением, повышающим рентабельность севооборотов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов О.С. Факторы влияния на взаимоотношения растений в агрофитоценозах Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2021. № 1. С. 35–43. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-1-35-43.
2. Ласкина Л.И., Байкин Ю.Л. Агрохимическая вредоносность сорных растений в посевах зерновых культур // Аграрное образование и наука. 2019. № 4. С. 128–131.
3. Шадских В.А., Пешкова В.О., Кижяева В.Е., Рассказова О.Л. Оценка засоренности посевов сельскохозяйственных культур в орошаемых агроценозах и меры борьбы с ней // Орошаемое земледелие. 2020. № 1. С. 17–20. DOI: 10.35809/2618-8279-2020-1-3.
4. Кафтан Ю.В. Влияние засоренности посевов ячменя и минерального питания на урожайность в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4. С. 104–108. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-104-108.
5. Kleiman B.M., Salas Primoli A., Koptur S., Krishnaswamy Jayachandran. Weeds, Pollinators, and Parasitoids-Using Weeds for Insect Manipulation in Agriculture // Journal of Research in Weed Science. 2020. Vol. 3. Is. 3. P. 382–390. DOI: 10.26655/JRWEEDSCI.2020.3.9.
6. Васильева Т.Н., Бакиров Ф.Г., Нестеренко Ю.М. Биопродуктивность и флористический состав естественных и агрофитоценозов Оренбуржья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 123–127.
7. Зеленов А.В., Семинченко Е.В. Биологизированные приемы повышения плодородия почвы в органическом земледелии Нижнего Поволжья // Вестник Курганской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 4–6.
8. Карабутов А.П., Соловиченко В.Д., Никитин В.В., Навольнева Е.В. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов // Земледелие. 2019. № 2. С. 3–8. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10201.
9. Алексеев В.А., Касаткин С.А. Отзывчивость отечественных и зарубежных сортов картофеля на использование сидератов // Владимирский земледелец. 2020. № 2. С. 39–43. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10117.
10. Пакина Е.Н., Гасанов Г.Н., Асварова Т.А. Влияние размера фитомассы различных предшественников и содержания в ней калия на урожайность люцерны // Агрохимия. 2021. № 6. С. 73–78. DOI: 10.31857/S0002188121060107.
11. Пакина Е.Н. Накопление фосфора в фитомассе предшественников и урожайность люцерны в условиях Западного Прикаспия // Плодородие. 2020. № 5. С. 21–24. DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.06.
12. Пакина Е.Н., Гасанов Г.Н., Асварова Т.А. Удобрение пожнивного естественного фитоценоза и озимой пшеницы в звене зернового севооборота в орошаемых условиях Западного Прикаспия // Плодородие. 2021. № 2. С. 42–45. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.11.
13. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия // Плодородие. 2018. № 2. С. 26–29. DOI: 10.25680/S19948603.2018.101.09.

14. Aggarwal N.K., Kumar N., Mittal M. Potential of Weed Biomass for Bioethanol Production // Bioethanol Production. Green Chemistry and Sustainable Technology. 2022. June. P. 65–71.
 15. Sohaib Hassan. Positive aspects of weeds as herbal remedies and medicinal plants // Journal of Research in Weed Science. 2020. Vol. 3. Is. 1. P. 57–70.
 16. Choudhary V.K., Gurjar D.S., Ram Swaroop Meena. Crop residue and weed biomass incorporation with microbial inoculation improve the crop and soil productivity in the rice (*Oryza sativa* L.) – toria (*Brassica rapa* L.) cropping system // Environmental and Sustainability Indicators. 2020. Vol. 7. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.indic.2020.100048.
- REFERENCES**
1. Chernov O.S. Factors influencing plant interrelation in agrophytocenoses in Upper Volga. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir agricolist*, 2021, no. 1, pp. 35–43. (In Russian). DOI: 10.24412/2225-2584-2021-1-35-43.
 2. Laskina L.I., Baykin Y.L. Agrochemical harmfulness of weeds in crops grain crops. *Agrarnoe obrazovanie i nauka = Agrarian education and Science*, 2019, no. 4, pp. 128–131. (In Russian).
 3. Shadskikh V.A., Peshkova V.O., Kizhaeva V.E., Rasskazova O.L. Evaluation of agriculture of crops of agricultural crops in irrigated agrocenoses and measures of struggle with it. *Oroshaemoe zemledelie = Irrigated Agriculture*, 2020, no. 1, pp. 17–20. (In Russian). DOI: 10.35809/2618-8279-2020-1-3.
 4. Kaftan Yu.V. Influence of infestation of barley crops and mineral nutrition on yield in the central zone of the Orenburg region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2021, no. 4, pp. 104–108. (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-104-108.
 5. Kleiman B.M., Salas Primoli A., Koptur S., Krishnaswami Jayachandran. Weeds, pollinators and parasitoids – the use of weeds to control insects in agriculture. *Journal of Research in Weed Science*, 2020, vol. 3, is. 3, pp. 382–390. DOI: 10.26655/JRWEEDSCI.2020.3.9.
 6. Vasilyeva T.N., Bakirov F.G., Nesterenko Yu.M. Bioproductivity and floristic structure of natural and agrophytocenoses of Orenburghye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2018, no. 4, pp. 123–127. (In Russian).
 7. Zelenev A.V., Semichenko E.V. Biologized methods of enhancing soil fertility in organic agriculture of the Lower Volga region. *Vestnik Kurganskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii = Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, 2019, no. 1, pp. 4–6. (In Russian).
 8. Karabutov A.P., Solovichenko V.D., Nikitin V.V., Navolneva E.V. Reproduction of soil fertility, productivity and energy efficiency of crop rotations. *Zemledelie = Zemledelie*, 2019, no. 2, pp. 3–8. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10201.
 9. Alekseev V.A., Kasatkin S.A. Reaction of domestic and foreign potato varieties to the green manure. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir agricolist*, 2020, no. 2, pp. 39–43. (In Russian). DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10117.
 10. Pakina E.N., Gasanov G.N., Asvarova T.A. The influence of the size of the phytomass of various precursors and the potassium content in it on alfalfa yield. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry*, 2021, no. 6, pp. 73–78. (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188121060107.
 11. Pakina E.N. Phosphorus accumulation in the phytomass of forecrops and alfalfa productivity under conditions of the Western Caspian. *Plodorodie = Plodorodie*, 2020, no. 5, pp. 21–24. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2020.116.06.
 12. Pakina E.N., Gasanov G.N., Asvarova T.A. Fertilizer of natural phytocenosis and winter wheat in the link of grain crop rotation under irrigated conditions of the Western Caspian. *Plodorodie = Plodorodie*, 2021, no. 2, pp. 42–45. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.11.
 13. Loshakov V.G. Green manure as a factor of soil fertility improving, biologization and ecologization of agriculture. *Plodorodie = Plodorodie*, 2018, no. 2, pp. 26–29. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2018.101.09.
 14. Aggarwal N.K., Kumar N., Mittal M. Potential of weed biomass for bioethanol production. *Production of bioethanol. Green chemistry and sustainable technologies*, 2022, June, pp. 65–71.
 15. Sohaib Hassan. Positive aspects of weeds as herbal remedies and medicinal plants. *Journal of Research in the field of Weed Science*, 2020, vol. 3, is. 1, pp. 57–70.

16. Choudhary V.K., Gurjar D.S., Ram Swarup Meena. The introduction of plant residues and biomass of weeds with microbial inoculation improves the yield and productivity of the soil

in the rice cultivation system (*Oryza sativa* L.) –
thorium (*Brassica rapa* L.). *Indicators of the
environment and sustainability*, 2020, vol. 7,
pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.indic.2020.100048.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Арсентьев И.А.**, младший научный со-
трудник; **адрес для переписки:** Россия, 140051,
Московская область, д.п. Красково, ул. Лорха, 23,
литер В; e-mail: ilya.arsentev29@gmail.com

Тимошина Н.А., кандидат сельскохозяй-
ственных наук, заведующая лабораторией, веду-
щий научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ilya A. Arsentiev**, Junior Researcher; **ad-
dress:** letter V, 23, Lorch St., Kraskovo, Moscow
region, 140051, Russia; e-mail: ilya.arsentev29@
gmail.com

Natalia A. Timoshina, Candidate of Science in
Agriculture, Laboratory Head, Lead Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 10.05.2023

Дата принятия к публикации / Accepted for publication 28.06.2023

Дата публикации / Published 20.10.2023

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@sfsc.ru и регистрируются ответственным секретарем.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Текст рукописи оформляется шрифтом Times New Roman, кеглем 14 с интервалом 1,5, все поля 2,0 см, нумерация страниц внизу. Объем статьи не более 15 страниц (включая таблицы, иллюстрации и библиографию); статей, размещаемых в рубриках «Из диссертационных работ» и «Краткие сообщения», – не более 7 страниц.

Структура оформления статьи:

1. **УДК**

2. **Заголовок статьи на русском и английском языках (не более 70 знаков).**

3. **Фамилии и инициалы авторов, полное официальное название научного учреждения, в котором проведены исследования, на русском и английском языках.**

Если в подготовке статьи принимали участие авторы из разных учреждений, необходимо указать принадлежность каждого автора к конкретному учреждению с помощью надстрочного индекса.

4. **Реферат на русском и английском языках.** Объем реферата не менее 200–250 слов. Реферат является кратким и последовательным изложением материала статьи по основным разделам и должен отражать основное содержание, следовать логике изложения материала и описания результатов в статье с приведением конкретных данных. Не следует включать впервые введенные термины, аббревиатуры (за исключением общеизвестных), ссылки на литературу. В реферате не следует подчеркивать новизну, актуальность и личный вклад автора; место исследования необходимо указывать до области (края), не упоминать конкретные организации.

5. **Ключевые слова на русском и английском языках.** 5–7 слов по теме статьи. Желательно, чтобы ключевые слова дополняли реферат и название статьи.

6. **Информация о конфликте интересов либо его отсутствии.** Автор обязан уведомить редактора о реальном или потенциальном конфликте интересов, включив информацию о конфликте интересов в соответствующий раздел статьи. Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом.

Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

7. **Благодарности на русском и английском языках.** В этом разделе указываются все источники финансирования исследования, а также благодарности людям, которые участвовали в работе над статьей, но не являются ее авторами.

8. **Основной текст статьи.** При изложении оригинальных экспериментальных данных рекомендуется использовать подзаголовки:

ВВЕДЕНИЕ (постановка проблемы, цели, задачи исследования)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ (условия, методы (методика) исследований, описание объекта, место и время проведения)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ или **ВЫВОДЫ**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Количество источников не менее 15. В список литературы включаются только рецензируемые источники: статьи из научных журналов и монографии. Самоцитирование не более 10% от общего количества. Библиографический список должен быть оформлен в виде общего списка в порядке упоминания в тексте, желательны ссылки на источники 2–3-летнего срока давности. Правила оформления списка литературы – в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008 (требования и правила составления библиографической ссылки). В тексте ссылка на источник отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на тех языках, на которых она издана. В библиографическое описание публикации необходимо вносить всех авторов, не сокращая их одним, тремя и т.п. Недопустимо сокращение названий статей, журналов, издательств.

Если необходимо сослаться на авторефераты, диссертации, сборники статей, учебники, рекомендации, учебные пособия, ГОСТы, информацию с сайтов, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и прочее, то такую информацию следует оформить в *сноску* в конце страницы. Сноски нумеруются арабскими цифрами, размещаются постранично сквозной нумерацией.

Внимание! Теоретические, обзорные и проблемные статьи могут иметь произвольную структуру, но обязательно должны содержать реферат, ключевые слова, список литературы.

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ, REFERENCES И СНОСОК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Монография

Климова Э.В. Полевые культуры Забайкалья: монография. Чита: Поиск, 2001. 392 с.

Часть книги

Холмов В.Г. Минимальная обработка кулисного пара под яровую пшеницу при интенсификации земледелия в южной лесостепи Западной Сибири // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. С. 230–235.

Периодическое издание

Пакуль А.Л., 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://antropophob.ru/translit-bis/>)* = англоязычное название источника. Далее оформление для монографии: город, англоязычное название издательства, год, количество страниц; для журнала: год, том, номер, страницы. (In Russian).

Пример: Avtor A.A., Avtor B.B., Avtor C.C. Title of article.

Транслитерация авторов. Англоязычное название статьи

Zaglavie jurnala = Title of Journal, 2012, vol. 10, no. 2, pp. 49–54.

Транслитерация источника = Англоязычное название источника

Монография

Klimova E.V. Field crops of Zabaikalya. Chita, Poisk Publ., 2001, 392 p. (In Russian).

Часть книги

Kholmov V.G. Minimum tillage of coulisse-strip fallow for spring wheat with intensification of arable agriculture in southern forest-steppe of Western Siberia. *Resource-saving tillage systems*, Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, pp. 230–235. (In Russian).

Периодическое издание

Pakul A.L., Lapshinov N.A., Bozhanova G.V., Pakul V.N. Technological grain qualities of spring common wheat depending on the system of soil tillage. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2018, vol. 48, no. 4, pp. 27–35. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2018-4-4.

СНОСКИ:

Цитируемый текст¹.

¹Климова Э.В., Андреева О.Т., Темникова Г.П. Пути стабилизации кормопроизводства Забайкалья // Проблемы и перспективы совершенствования зональных систем земледелия в современных условиях: материалы науч.-практ. конф. (Чита, 16–17 октября 2008 г.). Чита, 2009. С. 36–39.

Цифровой идентификатор Digital Object Identifier – DOI (когда он есть у цитируемого материала) необходимо указывать в конце библиографической ссылки.

Пример:

Chu T., Starek M.J., Brewer M.J., Murray S.C., Pruter L.S. Assessing lodging severity over an experimental maize (*Zea mays* L.) field using UAS images // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. P. 923. DOI: 10.3390/rs9090923.

Наличие DOI статьи следует проверять на сайте <http://search.crossref.org/> или <https://www.citethisforme.com>. Для этого нужно ввести в поисковую строку название статьи на английском языке.

РИСУНКИ, ТАБЛИЦЫ, СКРИНШОТЫ И ФОТОГРАФИИ

Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. Все рисунки должны иметь подрисуночные подписи. Подрисуночную подпись необходимо перевести на английский язык. Рисунки нумеруются арабскими цифрами по порядку следования в тексте. Если рисунок в тексте один, то он не нумеруется. Отсылки на рисунки оформляются следующим образом: «На рис. 3 указано, что ...» или «Указано, что ... (см. рис. 3)». Подрисуночная подпись включает

порядковый номер рисунка и его название: «Рис. 2. Описание жизненно важных процессов». Перевод подписи следует располагать после 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 подписи, которая должна соответствовать названию фотографии, помещаемой в текст.

Следует обратить внимание на написание формул в статье. Во избежание путаницы необходимо греческие (α , β , π и др.), русские (А, а, Б, б и др.) буквы и цифры писать прямым шрифтом, латинские – курсивным (*W*, *Z*, *m*, *n* и др.). Математические знаки и символы нужно писать также прямым шрифтом. Необходимо четко указывать верхние и нижние надстрочные символы (W^1 , F_1 и др.).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЖУРНАЛОМ И АВТОРОМ

Редакция просит авторов при подготовке статей руководствоваться изложенными выше правилами.

Все поступающие в журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» статьи проходят предварительную проверку на соответствие формальным требованиям. На этом этапе редакция оставляет за собой право:

- принять статью к рассмотрению;
- вернуть статью автору (авторам) на доработку с просьбой устранить ошибки или добавить недостающие данные;
- вернуть статью автору (авторам) без рассмотрения, оформленную не по требованиям журнала;
- отклонить статью из-за несоответствия ее целям журнала, отсутствия оригинальности, малой научной ценности.

Переписка с авторами рукописи ведется через контактное лицо, указанное в рукописи.

Все научные статьи, поступившие в редакцию журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки», проходят обязательное двухстороннее «слепое» рецензирование (double-blind – автор и рецензент не знают друг о друге). Рукописи направляются по профилю научного исследования на рецензию членам редакционной коллегии.

В спорных случаях редактор может привлечь к процессу рецензирования нескольких специалистов, а также главного редактора. При положительном заключении рецензента статья передается редактору для подготовки к печати.

При принятии решения о доработке статьи замечания и комментарии рецензента передаются автору. Автору дается 2 месяца на устранения замечаний. Если в течение этого срока автор не уведомил редакцию о планируемых действиях, статья снимается с очереди публикации.

При принятии решения об отказе в публикации статьи автору отправляется соответствующее решение редакции.

Ответственному (контактному) автору принятой к публикации статьи направляется финальная версия верстки, которую он обязан проверить.

ПОРЯДОК ПЕРЕСМОТРА РЕШЕНИЙ РЕДАКТОРА/РЕЦЕНЗЕНТА

Если автор не согласен с заключением рецензента и/или редактора или отдельными замечаниями, он может оспорить принятое решение. Для этого автору необходимо:

- исправить рукопись статьи согласно обоснованным комментариям рецензентов и редакторов;
- ясно изложить свою позицию по рассматриваемому вопросу.

Редакторы содействуют повторной подаче рукописей, которые потенциально могли бы быть приняты, однако были отклонены из-за необходимости внесения существенных изменений или сбора дополнительных данных, и готовы подробно объяснить, что требуется исправить в рукописи для того, чтобы она была принята к публикации.

ДЕЙСТВИЯ РЕДАКЦИИ В СЛУЧАЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАГИАТА, ФАБРИКАЦИИ ИЛИ ФАЛЬСИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Редакция научного журнала «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки» в своей работе руководствуется традиционными этическими принципами научной периодики и сводом принципов «Кодекса этики научных публикаций», разработанным и утвержденным Комитетом по этике научных публикаций, требуя соблюдения этих правил от всех участников издательского процесса.

ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК И ОТЗЫВ СТАТЬИ

В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, влияющих на ее восприятие, но не искажающих изложенные результаты исследования, они могут быть исправлены путем замены pdf-файла статьи. В случае обнаружения в тексте статьи ошибок, искажающих результаты исследования, либо в случае плагиата, обнаружения недобросовестного поведения автора (авторов), связанного с фальсификацией и/или фабрикацией данных, статья может быть отозвана. Инициатором отзыва статьи может быть редакция, автор, организация, частное лицо. Отзывная статья помечается знаком «Статья отозвана», на странице статьи размещается информация о причине ее отзыва. Информация об отзыве статьи направляется в базы данных, в которых индексируется журнал.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

Подписку на журнал «Сибирский вестник сельскохозяйственной науки»
(как на годовой комплект, так и на отдельные номера)
можно оформить одним из следующих способов:

**На сайте
АО «Почта России»
подписной индекс
ПМ401**

Зайти в раздел
«Онлайн-сервисы»,
затем – «Подписаться
на газету или журнал»

**В агентстве подписки
ООО «Урал-Пресс»
подписной индекс
014973**

Ссылка на издание
[https://www.ural-press.ru/
search/?q=014973.](https://www.ural-press.ru/search/?q=014973)
В разделе контакты зайти
по ссылке
<http://ural-press.ru/contact/>,
где можно выбрать филиал
по месту жительства

В редакции журнала

тел. 7 (383) 348-37-62
e-mail: sibvestnik@sfzca.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 9 (298)

DOI: 10.26898



2023
September

Editor-in-Chief – Alexander S. Donchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science in Veterinary Medicine, Head Researcher, Head of Research Group of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Deputy Editor-in-Chief – Tatyana A. Lombanina, Head of the «Agronauka» Publishing House of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Editorial board:

Vladimir V. Azarenko	Dr. Sci. in Engineering, Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. of Belarus, Minsk, Belarus
Victor V. Alt	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Olga S. Afanasenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Saint-Petersburg, Russia
Kirill S. Golokhvast	Cor. Mem. of Russ. Acad. Edu., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Olga V. Golub	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Nikolay P. Goncharov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Mikhail I. Gulyukin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Moscow, Russia
Valery N. Delyagin	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Seyed Ali Johari	Associate Professor, PhD, Sanandaj, Iran
Irina M. Donnik	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Nikolay A. Donchenko	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Novosibirsk, Russia
Nikolay M. Ivanov	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Andrey Yu. Izmailov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Engineering, Moscow, Russia
Nikolay I. Kashevarov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Valery I. Kiryushin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Sergey N. Mager	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Konstantin Ya. Motovilov	Cor. Mem. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Oleg K. Motovilov	Dr. Sci. in Engineering, Novosibirsk, Russia
Askar M. Nametov	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Cor. Mem. of the Nat. Acad. Sci. Rep. of Kazakhstan, Uralsk, Kazakhstan
Vasil S. Nikolov	Dr. Sci. in Veterinary Medicine, Sofia, Bulgaria
Sergey P. Ozornin	Dr. Sci. in Engineering, Chita, Russia
Valery L. Petukhov	Dr. Sci. in Biology, Novosibirsk, Russia
Revmira I. Polyudina	Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Marina I. Selionova	Dr. Sci. in Biology, Moscow, Russia
Vladimir A. Soloshenko	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Novosibirsk, Russia
Nikolay A. Surin	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Krasnoyarsk, Russia
Ivan F. Khramtsov	Acad. of Russ. Acad. Sci., Dr. Sci. in Agriculture, Omsk, Russia
Sezai Ercisli	Professor, PhD, Erzurum, Turkey
Seung H. Yang	Professor, PhD, Gwangju, Korea



www.sibvest.elpub.ru

Editors *E.M. Isaevich, E.V. Mosunova, G.N. Yagupova*. Corrector *V.E. Selianina*.

Desktop Publisher *N.U. Borisko*. Translator *M.Sh. Gacenko*.

Certificate PI FS77-64832 issued by the Federal Service for Supervision of Media, Communications and Information Technologies on February 2, 2016

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

Editorial and publisher's address: PO Box 463, office 456, SFSCA RAS Building, Krasnoobsk, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, 630501, Russia.

Printing house address: room 156, SRI of Fodder Crops building, Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, 630501, Russia.

Tel/fax: +7-383-348-37-62; e-mail: sibvestnik@sfscs.ru, vestnik.nsk@ngs.ru; www.sibvest.elpub.ru

© Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, 2023

© Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023